

明 細 書

データ送信方法及びデータ受信方法

技術分野

- [0001] 本発明は、MIMO-OFDM方式を利用して複数の送信アンテナから複数のデータ系列を送信するデータ送信方法、及び複数のデータ系列を複数の受信アンテナで受信するデータ受信方法に関して、より特定のには、伝送パス毎に異なる周波数誤差が存在する場合でも、伝搬係数逆関数の推定精度を向上させ、特性劣化を抑えることができるデータ送信方法及びデータ受信方法に関する。

背景技術

- [0002] 近年、広帯域移動体通信に利用される伝送方法として、MIMO-OFDM (Multi Input Multi Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式が注目されている。以下、MIMO-OFDM方式について説明する。
- [0003] 無線LANなどの移動体通信には、マルチパス環境下で生じる周波数選択性フェージングに強い変調方式として、マルチキャリア伝送の一種であるOFDM方式が採用されている。さらに、周波数利用効率の向上を目指し、複数の送信アンテナと複数の受信アンテナとを用いてMIMOチャネルを構成し、送受信間で空間分割により複数のパスを介して多重通信を行う方式(以下、MIMO方式と記す)が提案されている。MIMO方式では、送信アンテナの数だけチャネル数を増加させることができる。
- [0004] マルチパスに強いOFDM方式と、周波数利用効率を向上させるMIMO方式とを組み合わせたものがMIMO-OFDM方式である。従来のMIMO-OFDM方式が適用された伝送装置(以下、従来の伝送装置と記す)としては、例えば、特開2003-60604号公報に開示されたものがある。図18は、従来の伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。図18において、従来の伝送装置は、送信アンテナ数が2、受信アンテナ数が2である伝送装置(すなわち、2×2MIMO-OFDM伝送装置)を示している。
- [0005] 図18において、従来の伝送装置は、送信装置と受信装置とから構成される。送信装置は、プリアンブル発生部901、データ復調部902、903、マルチプレクサ904、9

- 05、直交変調部906、907、ローカル発振器908、及び送信アンテナTX1、TX2を備える。受信装置は、受信アンテナRX1、RX2、ローカル発振器909、直交復調部910、911、周波数誤差推定部912、913、平均部914、周波数補正部915、916、伝搬逆関数推定部917、及びデータ復調部918、919を備える。
- [0006] 送信装置において、プリアンプル発生部901は、同期用プリアンプルSsyncと伝搬係数推定用プリアンプルSrefとを発生する。データ変調部902は、送信アンテナTX1から送信するためのデータ(以下、データ系列1と記す)をOFDM変調して、データシンボル列1を出力する。データ変調部903は、送信アンテナTX2から送信するためのデータ(以下、データ系列2と記す)をOFDM変調して、データシンボル列2を出力する。
- [0007] マルチプレクサ904は、データシンボル列1、同期用プリアンプルSsync、及び伝搬係数推定用プリアンプルSrefを時分割多重して伝送フレーム1を生成する。マルチプレクサ905は、データシンボル列2、同期用プリアンプルSsync、及び伝搬係数推定用プリアンプルSrefを時分割多重して伝送フレーム2を生成する。図19は、従来の伝送装置で用いられる伝送フレームの一例を示す図である。図19において、伝送フレームは、データシンボル列の前に、同期用プリアンプルSsyncと伝搬係数推定用プリアンプルSrefとが挿入されている。
- [0008] 伝送フレーム1は、直交変調部906とローカル発振器908とで無線信号に変換される。伝送フレーム2は、直交変調部907とローカル発振器908とで無線信号に変換される。無線信号に変換された伝送フレーム1及び伝送フレーム2は、送信アンテナTX1及び送信アンテナTX2から同時に送信される。
- [0009] 複数の送信アンテナTX_iから送信された無線信号は、異なるパスを介して複数の受信アンテナRX_jで受信される。ただし、*i*が送信アンテナ番号、*j*が受信アンテナ番号を表すものとする。ここで、送信アンテナTX_iと受信アンテナRX_iとの間の伝送パスを $p(i, j)$ で表すと、従来の伝送装置は、 2×2 MIMOの場合、 $p(1, 1)$ 、 $p(1, 2)$ 、 $p(2, 1)$ 、及び $p(2, 2)$ の4つの伝送パスを持つことになる。また、伝送パス $p(i, j)$ が持つ伝搬係数を $h(i, j)$ 、送信アンテナTX_iが送信する送信信号を T_i とすると、受信アンテナRX_jが受信する受信信号 R_j は、式(1)及び(2)で表すことができる。

$$R1 = h(1, 1)T1 + h(2, 1)T2 \cdots (1)$$

$$R2 = h(1, 2)T1 + h(2, 2)T2 \cdots (2)$$

[0010] 受信装置において、受信信号R1は、ローカル発振器909と直交復調部910とで後段の処理に最適な周波数帯域に変換される。周波数誤差推定部912は、同期用プリアンプルSsyncに基づいて、受信信号R1に含まれる周波数誤差(以下、周波数誤差1と記す)を推定する。受信信号R2も同様に、ローカル発振器909と直交復調部911とで後段の処理に最適な周波数帯に変換される。周波数誤差推定部913は、同期用プリアンプルSsyncに基づいて、受信信号R2に含まれる周波数誤差(以下、周波数誤差2と記す)を推定する。周波数誤差1及び周波数誤差2は、平均部914で平均化される。

[0011] 周波数補正部915は、平均部914で平均化された周波数誤差に基づいて、受信信号R1の周波数を補正する。周波数補正部916は、平均部914で平均化された周波数誤差に基づいて、受信信号R2の周波数を補正する。周波数が補正された受信信号R1, R2は、伝搬逆関数推定部917に入力される。伝搬逆関数推定部917は、受信信号R1及び受信信号R2に含まれる伝搬係数推定用プリアンプルSrefに基づいて、伝搬係数 $h(i, j)$ の逆関数を推定し、推定された逆関数に基づいて、多重化された送信信号T1及び送信信号T2を分離する。データ復調部918は、分離された送信信号T1をOFDM復調して、データ系列1を出力する。同様にデータ復調部919は、分離された送信信号T2をOFDM復調して、データ系列2を出力する。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0012] しかしながら、従来の伝送装置においては、複数の送信アンテナから送信される同一の同期用プリアンプルSsyncに基づいて周波数誤差を推定していたため、受信アンテナ毎の周波数誤差は推定できるが、伝送パス毎の周波数誤差は推定することができなかった。伝送パス毎の周波数誤差は、伝搬係数が互いに無相関であり、マルチパスフェージングにより異なるドップラー周波数偏移が存在するなどの理由で互いに異なる。このため、従来の伝送装置には、空間多重により伝送パス毎に発生する周波数誤差が足し合わされてしまい、伝搬係数逆関数の推定および等化の精度が

下がり、特性が劣化するという課題があった。

- [0013] それ故に、本発明の目的は、MIMO-OFDM方式を利用して複数の送信アンテナから複数のデータ系列を送信する送信装置、及び複数のデータ系列を複数の受信アンテナで受信する受信装置において、伝送パス毎に異なる周波数誤差が存在する場合でも伝搬係数逆関数の推定精度を向上させ、特性劣化を抑えることができるデータ送信方法及びデータ受信方法を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0014] 本発明は、MIMO-OFDM方式を利用して、送信装置が、複数の送信アンテナから複数の受信アンテナに向けて複数のデータ系列を送信するデータ送信方法に向けられている。そして上記目的を達成させるために、本発明のデータ送信方法は、互いに直交する所定の周波数間隔からなる複数のサブキャリアに、所定の振幅と位相とを割り当てた同期シンボルを、複数の送信アンテナ毎に分割することで複数の同期サブシンボルを発生させるステップと、複数の同期サブシンボルを無線信号に変換して、複数の送信アンテナから同時に送信するステップとを備える。
- [0015] 好ましくは、データ送信方法は、複数の送信アンテナから送信するための複数の送信データを複数のデータシンボル列に変調するステップと、送信アンテナと受信アンテナとの間における複数の伝送パスが持つ伝搬係数の逆関数を推定するためのシンボルとして、送信アンテナ毎に互いに直交する伝搬係数推定用シンボルを発生させるステップとをさらに備える。送信するステップは、複数の送信アンテナ毎に、データシンボル列と、同期サブシンボルと、伝搬係数推定用シンボルとを伝送フレームに多重化するステップと、複数の送信アンテナ毎に多重化された伝送フレームを、無線信号に変換するステップとを含む。
- [0016] また、データシンボル列に変調するステップは、複数のサブキャリアのうち所定のサブキャリアに、送信データに基づいた振幅及び位相を割り当てることで、データキャリアとするステップと、データキャリア以外のサブキャリアに既知の位相及び振幅を割り当てることで、パイロットキャリアを発生させるステップと、データキャリアとパイロットキャリアとを複数のデータシンボルに直交多重し、直交多重された複数のデータシンボルをデータシンボル列として出力するステップとを含む。

- [0017] パイロットキャリアを発生させるステップは、複数の送信アンテナから同時に送信するデータシンボルの1つにのみ、パイロットキャリアとして既知の位相と振幅とを割り当て、その他の同時に送信するデータシンボルにはパイロットキャリアとして大きさ0の振幅を割り当てる。
- [0018] 送信するステップは、複数の送信アンテナ間で同期を取るために、送信アンテナ毎に共通する1つの送信用局部発振器、又は送信アンテナ毎に異なる複数の送信用局部発振器を利用する。
- [0019] また、本発明は、MIMO-OFDM方式を利用して複数の送信アンテナから送信された複数のデータ系列を、受信装置が、複数の受信アンテナを介して受信するデータ受信方法にも向けられている。そして、上記目的を達成させるために、本発明のデータ受信方法は、複数のデータ系列を受信アンテナ毎に受信するステップと、複数の受信アンテナから受信したデータ系列を受信アンテナ毎に同期させて復調するステップと、受信アンテナ毎に復調された受信信号と、受信信号に含まれる同期サブシンボルとに基づいて、送信アンテナと受信アンテナとの間における複数の伝送パスが持つ特性を伝送パス毎に推定するステップとを備える。ただし、複数のデータ系列には、互いに直交する複数のサブキャリアからなる同期シンボルを複数の送信アンテナ毎に分割することで生成された同期サブシンボルが含まれていることを特徴とする。
- [0020] 好ましくは、特性を伝送パス毎に推定するステップは、受信アンテナ毎に復調された受信信号と、受信信号に含まれる同期サブシンボルとの相関から伝送パス毎に発生する周波数誤差を推定するステップを含む。また、データ受信方法は、特性を伝送パス毎に推定するステップの後に、推定された周波数誤差に基づいて、受信信号の周波数を補正するステップをさらに備える。
- [0021] 受信信号の周波数を補正するステップは、推定された伝送パス毎に発生する周波数誤差を重み付け平均して、受信信号を補正するための周波数補正值を受信アンテナ毎に算出するステップと、算出された周波数補正值に基づいて、受信信号の周波数を受信アンテナ毎に補正して周波数が補正された受信信号として出力するステップとを含む。
- [0022] 周波数誤差を推定するステップは、受信信号と受信信号に含まれる同期サブシン

ボルとの相関値のピークタイミングを重み付け平均したものに基づいて、受信シンボルタイミングを発生させることができる。

- [0023] 好ましくは、受信信号には、送信アンテナと受信アンテナとの間における複数の伝送パスが持つ伝搬係数の逆関数を推定するためのシンボルとして、送信アンテナ毎に互いに直交するように送信された伝搬係数推定用シンボルが含まれる。このような場合、データ受信方法は、受信信号の周波数を補正するステップの後に、周波数が補正された受信信号に含まれる伝搬係数推定用シンボルに基づいて、複数の伝送パス毎に伝搬係数の逆関数を推定して、推定した逆関数に基づいて複数の受信信号から複数の送信アンテナが送信した信号を分離するステップをさらに備える。
- [0024] また、データ受信方法は、復調するステップと特性を伝送パス毎に求めるステップとの間に、復調するステップによって受信アンテナ毎に復調された受信信号と、受信信号に含まれる同期サブシンボルから合成された同期シンボルとの相関から、復調された受信信号に含まれる周波数誤差を受信アンテナ毎に推定するステップと、推定された周波数誤差を重み付け平均して、複数の受信信号に対する平均の周波数誤差を算出するステップと、算出された平均の周波数補正值に基づいて、複数の受信信号の周波数を補正する第2の補正ステップとを備えてもよい。
- [0025] また、受信するステップは、複数の送信アンテナから送信された信号を、複数のデータ系列よりも多くの受信アンテナを用いて受信するステップと、多くの受信アンテナから受信した信号の受信レベルを判定するステップと、判定された受信レベルに応じて、多くの受信アンテナから受信した信号を選択又は合成するステップとを含んでもよい。
- [0026] 復調するステップは、複数の受信アンテナ間で同期を取るために、受信アンテナ毎に共通する1つの受信用局部発振器、又は受信アンテナ毎に異なる複数の受信用局部発振器を利用する。
- [0027] また、特性を伝送パス毎に推定するステップは、受信アンテナ毎に復調された受信信号に含まれる同期サブシンボルに基づいて、受信信号に含まれる複数のサブキャリアの位相と振幅とを周波数方向に補完して、伝送パス毎の粗い周波数特性を推定するステップを含んでもよい。データ受信方法は、特性を伝送パス毎に推定するステ

ップの後に、推定された伝送パス毎の粗い周波数特性に基づいて、複数の伝送パスが持つ伝搬係数の逆関数を推定して、推定した逆関数に基づいて複数の受信信号から複数の送信アンテナが送信した信号を分離するステップをさらに備える。

[0028] また、本発明は、MIMO-OFDM方式を利用して、複数の送信アンテナから複数の受信アンテナに向けて複数のデータ系列を送信する送信装置にも向けられている。そして、上記目的を達成させるため、本発明の送信装置は、複数の同期サブシンボル発生部と、複数の変調部と、複数の送信アンテナとを備える。複数の同期サブシンボル発生部は、所定の周波数間隔からなる複数のサブキャリアに、所定の振幅と位相とを割り当てた同期シンボルを、複数の送信アンテナ毎に分割することで、複数の送信アンテナ毎に互いに直交する同期サブシンボルを発生させる。複数の変調部は、複数の同期サブシンボルを複数の送信アンテナ毎に変調する。複数の送信アンテナは、複数の変調部で変調された信号を同時に送信する

[0029] また、本発明は、MIMO-OFDM方式を利用して複数の送信アンテナから送信された複数のデータ系列を、複数の受信アンテナを介して受信する受信装置にも向けられている。そして、上記目的を達成させるため、本発明の受信装置は、複数の受信アンテナと、複数の復調部と、複数の同期サブシンボル相関部と、複数の周波数補正部とを備える。複数の受信アンテナは、複数のデータ系列を受信する。複数の復調部は、複数の受信アンテナで受信したデータ系列を、受信アンテナ毎に同期させて復調する。複数の同期サブシンボル相関部は、受信アンテナ毎に復調された受信信号と、受信信号に含まれる同期サブシンボルとの相関から、受信信号に含まれる周波数誤差を伝送パス毎に推定する。複数の周波数補正部は、推定された周波数誤差に基づいて、受信信号の周波数を複数の受信アンテナ毎に補正する。ただし、複数のデータ系列には、互いに直交する複数のサブキャリアからなる同期シンボルを複数の送信アンテナ毎に分割することで生成された同期サブシンボルが含まれている。

発明の効果

[0030] 以上のように本発明によれば、送信装置は、所定の周波数間隔からなる複数のサブキャリアに、所定の振幅と位相とを割り当てた同期シンボルを複数の送信アンテナ

毎に分割することで、互いに直交する複数の同期サブシンボルを複数の送信アンテナから同時に送信することができる。また、受信装置は、受信信号に含まれる同期サブシンボルと受信信号との相関を求めることで、伝送パス毎に発生する搬送波周波数誤差および伝搬遅延を推定することができる。これによって伝送装置は、これら推定された誤差を受信アンテナ毎に重み付け平均して、受信信号を補正することで伝搬係数逆関数推定の精度を向上させることができる。

[0031] また、受信装置は、受信アンテナ毎に受信した受信信号と同期シンボル Sysnc との相関演算から、複数の受信アンテナに対する平均の周波数誤差を推定することができる。これによって伝送装置は、送受間の局部発振器の周波数誤差をキャンセルすることができ、後段の同期サブシンボル相関演算をより正確に行うことができる。

[0032] また、受信装置は、同期サブシンボルを用いて、予め伝送パス毎の粗い周波数特性を推定することができる。これによって伝送装置は、伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。

[0033] また、受信装置は、周波数選択性フェージング環境下で特定のサブキャリア受信レベルが落ち込むような場合でも、複数の受信アンテナの選択または合成による受信ダイバーシチ効果で、同期サブシンボルの相関を正確に求めることができる。これによって伝送装置は、伝送パス毎の搬送波周波数誤差をより正確に補正することができ、伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。

[0034] また、送信装置は、データ変調部が所定のサブキャリアに既知の位相及び振幅を割り当てることで、データシンボルにパイロットキャリアを発生させることができる。また、受信装置は、同期シンボルによる周波数推定に残留誤差があるような場合でも、データシンボルのパイロットキャリアを用いて、伝送パス毎に残留誤差を推定し伝搬係数を補正することで伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。また、伝送装置は、周波数選択性フェージング環境下で特定のサブキャリア受信レベルが落ち込むような場合でも、パイロットキャリアを全サブキャリアに順次割り当てることで、パイロットキャリア受信レベルが落ち込む確率を低くすることができる。また、上述したパイロットサブキャリアの割当て方法により、各サブキャリアの伝搬路推定値の補間精度を均一にすることができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]図1は、本発明の第1の実施形態に係る伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図2]図2は、同期サブシンボルStx1, Stx2を説明する図である。

[図3]図3は、伝送フレームの構成の一例を示す図である。

[図4]図4は、マルチプレクサ106, 107が生成する伝送フレームの一例を示す図である。

[図5]図5は、送信アンテナ毎に異なる局部発振器を用いた伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図6]図6は、同期サブシンボル関連部114, 115の詳細な動作を説明する図である。

[図7]図7は、本発明の第2の実施形態に係る受信装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図8]図8は、同期シンボルSysncを挿入した伝送フレームの一例を示す図である。

[図9]図9は、本発明の第3の実施形態に係る伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図10]図10は、伝搬係数粗推定部301～304の動作を説明する図である。

[図11]図11は、本発明の第4の実施形態に係る受信装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図12]図12は、受信系統数よりも多い受信アンテナをまとめて備える受信装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図13]図13は、本発明の第5の実施形態に係る伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図14]図14は、本発明の第5の実施形態に係るデータ変調部502, 504の構成の一例を示すブロック図である。

[図15]図15は、本発明の第5の実施形態に係る伝搬逆関数推定部522の構成の一例を示すブロック図である。

[図16]図16は、データ変調部502, 504が生成するデータシンボル列の一例を示す

図である。

[図17]図17は、パイロットキャリアの配置の一例を時間軸対周波数軸で模式的に示す図である。

[図18]図18は、従来の伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図19]図19は、従来の伝送装置で用いられる伝送フレームの一例を示す図である。

符号の説明

- [0036] TX1、TX2 送信アンテナ
 RX1、RX2 受信アンテナ
 101、105 同期サブシンボル発生部
 102、104、502、504 データ変調部
 103 伝搬係数推定用シンボル発生部
 106、107 マルチプレクサ
 108、110 直交変調部
 109 送信用局部発振器
 112 受信用局部発振器
 111、113 直交復調部
 114～117 同期サブシンボル相関部
 118、119、203 重み付け平均部
 120、121 周波数補正部
 122、322、522 伝搬逆関数推定部
 123、124 データ復調部
 201、202 同期シンボル相関部
 204、205 周波数補正部
 301～304 伝搬係数粗推定部
 401、402 受信レベル判定部
 403、404 選択合成部
 5021、5041 データキャリアマッピング部
 5022、5042 パイロットキャリア発生部

5023、5043 直交多重部

5221、5222 直交分離部

5223 伝搬路特性推定部

5224～5227 PC抽出部

5228～5231 伝搬路係数粗推定部

5232 伝搬路特性更新部

5233 伝搬路逆関数演算部

5234 チャネル分離部

発明を実施するための最良の形態

[0037] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。ここでは、送信アンテナ数が2、受信アンテナ数が2である(すなわち、 2×2 MIMO構成である)場合の伝送装置を示している。

[0038] 図1において、本発明の第1の実施形態に係る伝送装置は、送信装置と受信装置とから構成される。送信装置は、送信アンテナTX1, TX2、同期サブシンボル発生部101, 105、データ変調部102, 104、伝搬係数推定用シンボル発生部103、マルチプレクサ106, 107、直交変調部108, 109、及び送信用局部発振器109を備える。受信装置は、受信アンテナRX1, RX2、直交復調部111, 113、受信用局部発振器112、同期サブシンボル相関部114～117、重み付け平均部118, 119、周波数補正部120, 121、伝搬逆関数推定部122、及びデータ復調部123, 124を備える。

[0039] 送信装置において、送信アンテナTX1, TX2は、無線信号を送信するためのアンテナである。同期サブシンボル発生部101, 105は、送信アンテナ毎に異なる同期サブシンボル Stx を発生させる。データ変調部102, 104は、送信アンテナ毎に異なるデータ系列を変調し、データシンボル列として出力する。伝搬係数推定用シンボル発生部103は、伝搬係数の逆関数を推定するためのシンボル(以下、伝搬係数推定用シンボル $Sref$ と記す)を発生させる。マルチプレクサ106, 107は、同期サブシンボル Stx と伝搬係数推定用シンボル $Sref$ とデータシンボル列とを多重化して伝送フレームを生成する。送信用局部発振器109は、マルチプレクサ106とマルチプレクサ1

07との間の同期を保つための発振器である。

[0040] 受信装置において、受信アンテナRX1, RX2は、無線信号を受信するためのアンテナである。直交復調部111, 113は、受信アンテナを介して受信した無線信号を復調して受信信号として出力する。受信用局部発振器112は、直交復調部111と直交復調部113との間の同期を保つための発振器である。同期サブシンボル相関部114～117は、受信信号と同期サブシンボル Stx との相関を求め、伝送パス毎の周波数誤差を推定する。重み付け平均部118, 119は、伝送パス毎の周波数誤差を重み付け平均して、受信アンテナ毎の周波数補正值を算出する。周波数補正部120, 121は、算出された周波数補正值に基づいて、受信信号の周波数を補正する。伝搬逆関数推定部122は、周波数補正された受信信号に含まれる伝搬係数推定用シンボル S_{ref} に基づいて、送信アンテナから送信されたデータ系列を受信信号から分離する。データ復調部123, 124は、伝搬逆関数推定部122で分離されたデータ系列を復調する。

[0041] 以下、第1の実施形態に係る伝送装置を構成する送信装置及び受信装置の動作について説明する。

[送信装置の動作について]

送信装置において、同期サブシンボル発生部101, 105は、送信アンテナ毎に異なる同期サブシンボル Stx を発生させる。具体的には、同期サブシンボル発生部101は、送信アンテナTX1用に同期サブシンボル $Stx1$ を発生させる。同期サブシンボル発生部105は、送信アンテナTX2用に同期サブシンボル $Stx2$ を発生させる。図2は、同期サブシンボル $Stx1$, $Stx2$ を説明する図である。

[0042] 図2を参照して、同期サブシンボル $Stx1$, $Stx2$ は、同期シンボル S_{sync} に含まれる複数のサブキャリアから所定のサブキャリアを抜き出して構成されたものである。同期シンボル S_{sync} は、互いに直交する所定の周波数間隔からなる複数のサブキャリアから構成され、各サブキャリアには所定の振幅と位相とが割り当てられている。同期シンボル S_{sync} には、これらのサブキャリアをフーリエ変換などで直交多重し、時間軸上で表される信号に変換すると、上述した所定の周波数間隔の逆数である時間周期で、繰り返し波形が現れるという性質がある。

- [0043] 同期サブシンボル発生部101, 105は、同期シンボルSsyncを構成する複数のサブキャリアを送信アンテナ数N個の組に分割する。例えば、同期サブシンボル発生部101は、送信アンテナTX1から送信するシンボルとして、偶数番のサブキャリアを割り当て、フーリエ変換などで直交多重することで、同期サブシンボルStx1を発生させる。また、同期サブシンボル発生部105は、送信アンテナTX2から送信するシンボルとして奇数番のサブキャリアを割り当て、フーリエ変換などで直交多重することで、同期サブシンボルStx2を発生させる。同期サブシンボルStx1, Stx2同士は、互いにサブキャリア配置が異なり周波数領域で直交するため、空間で多重されても容易に分離することができる。また、同期サブシンボルStx1, Stx2にも上述した所定の周波数間隔の逆数である時間周期で繰り返し波形が現れる。このため、受信装置は、この繰り返し波形を元に搬送波周波数誤差を推定することが可能となる。
- [0044] データ変調部102は、送信アンテナTX1から送信するためのデータ(以下、データ系列1と記す)を変調してデータシンボル列1を出力する。データ変調部104は、送信アンテナTX2から送信するためのデータ系列(以下、データ系列2と記す)を変調してデータシンボル列2を出力する。
- [0045] 伝搬係数推定用シンボル発生部103は、伝搬係数推定用シンボルSrefを発生させる。伝搬係数推定用シンボルSrefには、伝送パス毎に伝搬係数の逆関数を推定するため、送信アンテナ間で互いに直交するシンボルが用いられる。送信アンテナTX1から送信するシンボルをSref1、送信アンテナTX2から送信するシンボルをSref2とすると、伝搬係数推定用シンボル発生部103は、例えば、ある時刻T1においては、Sref1としてSrefを出力し、Sref2としては何も出力しない。また、伝搬係数推定用シンボル発生部103は、別の時刻T2においては、Sref1としては何も出力せず、Sref2としてSrefを出力する。これによって、伝搬係数推定用シンボル発生部103は、Sref1とSref2とを時間的に直交させることができる。
- [0046] データシンボル列1、伝搬係数推定用シンボルSref1及び同期サブシンボルStx1は、マルチプレクサ106に入力される。データシンボル列2、伝搬係数推定用シンボルSref2及び同期サブシンボルStx2は、マルチプレクサ107に入力される。マルチプレクサ106は、入力されたデータシンボル列1、伝搬係数推定用シンボルSref1及

び同期サブシンボルStx1を多重化して伝送フレームF1を生成する。同様に、マルチプレクサ107は、入力されたデータシンボル列2、伝搬係数推定用シンボルSref2及び同期サブシンボルStx2を多重化して伝送フレームF2を生成する。図3は、マルチプレクサ106, 107が生成する伝送フレームの一例を示す図である。図3を参照して、伝送フレームには、データシンボル列の前に同期サブシンボルStxと伝搬係数推定用シンボルSrefとが挿入されている。

[0047] 伝送フレームF1は、直交変調部108と送信用局部発振器109とで無線信号に変換される。伝送フレーム2は、直交変調部110と送信用局部発振器108とで無線信号に変換される。無線信号に変換された伝送フレームF1及び伝送フレームF2は、送信アンテナTX1及び送信アンテナTX2から同時に送信される。

[0048] なお、図3において、伝送フレームには、同期サブシンボルStx及び伝搬係数推定用シンボルSrefが、データシンボル列の前に挿入されているが、同期サブシンボルStxと伝搬係数推定用シンボルSrefのいずれかまたは両方をデータシンボル列中に所定間隔で挿入してもよいものとする。図4は、StxとSrefとの両方をデータシンボル列中に挿入した伝送フレームの一例を示す図である。このような伝送フレームを用いることで、伝送装置は、伝搬特性に時間変動が生じるような場合でも、所定間隔で挿入されたこれらのシンボルで伝搬特性を推定し直すことで時間変動に追従することが可能になる。これにより、伝送装置は、伝搬特性に時間変動が生じるような場合でも、受信特性の劣化を抑えることができる。

[0049] また、送信装置は、送信アンテナ毎に異なる送信用局部発振器を用いてもよい。図5は、送信アンテナ毎に異なる局部発振器を用いた伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。図5を参照して、送信装置は、送信アンテナTX1用の局部発振器109aと、送信アンテナTX2用の局部発振器109bとを備えている。このような送信装置は、送信アンテナの配置に自由度を持たせることができる。また、このような送信装置から構成される伝送装置は、送信アンテナの配置によっては、伝送パス間の相関をより小さくすることができ、効果的に空間多重を行うことができる。さらに、1つの送信用局部発振器を用いて複数のアンテナから送信するMIMO専用の高周波部品だけでなく、一般的に用いられている高周波部品を使用することができる。

[0050] [受信装置の動作について]

送信アンテナTX1, TX2から同時に送信された無線信号は、複数の空間パスを介して受信アンテナRX1, RX2で受信される。受信アンテナRX1で受信された信号(以下、受信信号R1と記す)は、直交復調部111と受信用局部発振器112とで復調され、同期サブシンボル相関部114, 115及び周波数補正部120に入力される。同様に、受信アンテナRX2で受信された信号(以下、受信信号R2と記す)は、直交復調部113と受信用局部発振器112とで復調され、同期サブシンボル相関部116, 117及び周波数補正部121に入力される。

[0051] ここで、送信アンテナTX_iと受信アンテナRX_jとの間の伝送パスを $p(i, j)$ 、伝送パス $p(i, j)$ が持つ伝搬係数を $h(i, j)$ とする。このような場合、受信アンテナRX_iが受信する同期サブシンボルは、送信アンテナTX1が同期サブシンボルStx1を、送信アンテナTX2が同期サブシンボルStx2を送信しているので、 $h(1, 1)Stx1 + h(2, 1)Stx2$ で表すことができる。ただし、 i が送信アンテナ番号、 j が受信アンテナ番号である。

[0052] すなわち、同期サブシンボル相関部114は、Stx1とStx2とが互いに直交しているので、RX1での受信信号とStx1との相関を求めると、Stx2の項が0となり、Stx1に基づいて伝送パス $p(1, 1)$ に関する情報を推定することができる。同様に、同期サブシンボル相関部115は、RX1での受信信号とStx2との相関を求めると、Stx1の項が0となり、Stx2に基づいて伝送パス $p(2, 1)$ に関する情報を推定することができる。

[0053] 図6は、同期サブシンボル相関部114, 115の詳細な動作を説明する図である。図6(a)及び(b)を参照して、TX1, TX2から送信される同期サブシンボルStx1, Stx2には、上述したように所定の周期の繰り返し波形が表れる。図6(c)は、受信アンテナRX1での受信信号(以下、RX1受信信号と記す)を表している。同期サブシンボル相関部114, 115は、同期サブシンボルStx1, Stx2の繰り返し波形とRX1受信信号との複素相関を演算する。図6(d)を参照して、RX1受信信号とStx1との相関値(以下、Stx1相関値と記す)には、RX1受信信号と、Stx1の繰り返し波形とが一致するタイミングで複素相関値のピークが現れる。図6(e)を参照して、搬送波周波数誤差が生じると、相関ピークタイミング毎に相関値の位相が変化するため、同期サブシンボル相関部114は、この変動量から伝送パス $p(1, 1)$ で発生する搬送波周波数誤差を推

定することができる。

[0054] 図6(f)及び(g)を参照して、同期サブシンボル相関部115は、同様の方法にて、伝送パス $p(1, 2)$ で発生する搬送波周波数誤差を推定する。同期サブシンボル相関部116, 117も、同様の方法にて、同期サブシンボル $Stx1$, $Stx2$ の繰り返し波形と受信信号 $R2$ との複素相関を演算して、伝送パス $p(1, 2)$ 、 $p(2, 2)$ で発生する搬送波周波数誤差を推定する。

[0055] 同期サブシンボル相関部114～117は、 Stx 内の繰り返し波形と受信信号との相互相関演算で、 Stx 相関値を求めることができる。あるいは、同期サブシンボル相関部114～117は、一周波数DFTを用いて Stx を構成するサブキャリアを幾つか抽出し、抽出したサブキャリアの位相変化の平均から Stx 相関値を求めてもよい。このような場合、送信装置が Stx を繰り返して送信し、受信装置で同期サブシンボル相関部114～117が Stx の繰り返し波形の相関を求める。同期サブシンボル相関部114～117は、この繰り返し波形の相関ピークが所定間隔で所定回数検出できれば、以降に受信する Stx 列に対しては Stx 長の相関を求めてよい。同期サブシンボル相関部114～117は、このように相関演算期間を長くすることで、より精密な送受間位相差を検出することが可能となる。

[0056] 同期サブシンボル相関部114～117で得られた伝送パス毎の搬送波周波数誤差は、重み付け平均部118, 119に入力される。重み付け平均部118は、伝送パス $p(1, 1)$ 及び $p(2, 1)$ の搬送波周波数誤差を重み付け平均して、受信アンテナ $RX1$ に対する周波数補正值を算出する。同様に、重み付け平均部119は、伝送パス $p(1, 2)$ 及び $p(2, 2)$ の搬送波周波数誤差を重み付け平均して、受信アンテナ $RX2$ に対する周波数補正值を算出する。

[0057] 重み付け平均部118, 119は、各同期サブシンボル Stx の相関量に比例した重み付けを行えばよい。あるいは、重み付け平均部118, 119は、後段のデータ復調部123, 124で送信アンテナ毎の受信誤り率を求め、その誤り率に基づいて誤りの多い(すなわち、伝搬路が劣悪な)伝送パスを介して受信される信号の重み付けを小さくしてもよい。

[0058] また、重み付け平均部118, 119は、同期サブシンボルが伝送フレーム中に所定間

隔で挿入されている場合(図4参照)、過去に推定された搬送波周波数誤差と、現在の同期サブシンボルから推定された搬送波周波数誤差とを平均化してもよい。このような伝送装置は、雑音などによる推定誤差で周波数補正值が大きく変動することを抑えつつ、搬送波周波数誤差の時間変動に追従することができるため、より伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。

[0059] 周波数補正部120, 121は、重み付け平均部118, 119で算出された受信アンテナ毎の周波数補正值に基づいて受信信号R1, R2の周波数を補正する。伝搬逆関数推定部122は、周波数補正された受信信号R1, R2から伝搬係数推定用シンボルS_{ref}を抽出し、伝送パス毎の伝搬係数逆関数を推定して干渉成分をキャンセルする等化を行い、送信アンテナTX1, TX2から送信されたデータシンボル列を分離する。具体的には、送信アンテナTX1から送信されたデータは、データシンボル列1として分離される。送信アンテナTX2から送信されたデータは、データシンボル列2として分離される。分離されたデータシンボル列1は、データ復調部123でデータ系列1として復調される。同様に、分離されたデータシンボル列2は、データ復調部124でデータ系列2として復調される。

[0060] なお、受信装置は、同期サブシンボル相関部114～117で得られた相関ピークタイミングから伝送パス毎に発生する伝搬遅延を検出することで、粗いフレーム同期を確立することができる。受信装置は、これらの相関ピークタイミングを相関量に応じて重み付け平均し、それに基づいてシンボルタイミングを発生させることで、伝搬逆関数推定部122でのS_{ref}抽出時におけるシンボル間干渉を抑圧することができる。

[0061] また、受信装置は、受信アンテナ毎に異なる受信用局部発振器を用いてもよい。受信装置は、受信用局部発振器を複数用いることで、受信アンテナの配置により自由度を持たせることができる。また、このような受信装置から構成される伝送装置は、受信アンテナの配置によっては、伝送パス間の相関をより小さくすることができ、効果的に空間多重を行うことができる。さらに、1つの受信用局部発振器を用いて複数のアンテナから受信するMIMO専用の高周波部品だけでなく、一般的に用いられている高周波部品を使用することができる。

[0062] 以上のように、本発明の第1の実施形態に係る送信装置によれば、所定の周波数

間隔からなる複数のサブキャリアに、所定の振幅と位相とを割り当てた同期シンボルを複数の送信アンテナ毎に分割することで、互いに直交する複数の同期サブシンボルを複数の送信アンテナから同時に送信することができる。また、受信装置によれば、受信信号に含まれる同期サブシンボルと受信信号との相関を求めることで、伝送パス毎に発生する搬送波周波数誤差および伝搬遅延を推定することができる。これによって伝送装置は、これら推定された誤差を受信アンテナ毎に重み付け平均して、受信信号を補正することで伝搬係数逆関数推定の精度を向上させることができる。

[0063] (第2の実施形態)

第2の実施形態に係る伝送装置は、第1の実施形態(図1参照)と比較して、受信装置の構成が異なる。第1の実施形態に係る伝送装置においては、送信用局部発振器109と受信用局部発振器112との間での周波数誤差が大きい場合、同期サブシンボル相関部114～117が相関を正確に求められない可能性があった。特に相関演算に一周波数DFTなどを用いた場合は、同期サブシンボル相関部114～117は、周波数誤差にフーリエ変換の周波数ビン間隔の $1/2$ 以上のずれが生じると、サブキャリアの抽出が正確に行えなくなる。そこで、第2の実施形態に係る受信装置は、送受間における局部発振器の平均の周波数誤差を予め補正する。

[0064] 図7は、本発明の第2の実施形態に係る受信装置の構成の一例を示すブロック図である。第2の実施形態では、第1の実施形態と同一の構成要素については同一の参照符号を用いて説明を省略する。図7において、第2の実施形態に係る受信装置は、第1の実施形態と比較して、同期シンボル相関部201、202、重み付け平均部203、及び周波数補正部204、205をさらに備える。

[0065] 同期シンボル相関部201は、受信アンテナRX1が受信した信号に含まれる同期サブシンボルStx1、Stx2を合成して、同期シンボルSysncを生成する。この同期シンボルSsyncは、上述したように所定の周期の繰り返し波形からなる。そのため、同期シンボル相関部201は、受信信号と同期シンボルSsyncの繰り返し波形との相関から、受信アンテナRX1において発生する平均の周波数誤差を求めることができる。同期シンボル相関部202も同様に、受信アンテナRX2において発生する平均の周波数誤差を求めることができる。

- [0066] 重み付け平均部203は、同期シンボル相関部201, 202で求められた受信アンテナ毎の周波数誤差を重み付け平均し、受信信号に対する周波数補正値を求める。このとき、重み付け平均部203は、各同期シンボルSysncの相関量に比例した重み付けを行えばよい。あるいは、重み付け平均部203は、各受信アンテナで受信された受信信号のレベルに比例した重み付けを行ってもよい。
- [0067] 周波数補正部204, 205は、重み付け平均部203で求められた周波数補正値に基づいて、受信アンテナ毎に受信信号を周波数補正し、送受間の局部発振器の周波数誤差をキャンセルする。
- [0068] なお、第2の実施形態に係る伝送装置においては、第1の実施形態と同じ伝送フレーム(図3参照)を用いていたが、予め同期サブシンボルStxの前に、同期シンボルSysncを挿入した伝送フレームを用いてもよい。図8は、同期シンボルSysncを挿入した伝送フレームの一例を示す図である。このような伝送フレームを用いることで、第2の実施形態に係る伝送装置は、同期シンボルSysncに含まれる全てのサブキャリアを複数のアンテナから送信することができる。これにより、伝送装置は、ある伝送パスにおける受信レベルが低い場合でも、同期シンボルSysncの相関を精度良く検出することができる。
- [0069] 以上のように、本発明の第2の実施形態に係る受信装置によれば、受信アンテナ毎に受信した受信信号と同期シンボルSysncとの相関演算から、複数の受信アンテナに対する平均の周波数誤差を推定することができる。これによって、伝送装置は、送受間の局部発振器の周波数誤差をキャンセルすることができ、後段の同期サブシンボル相関演算をより正確に行うことができる。
- [0070] (第3の実施形態)
- 図9は、本発明の第3の実施形態に係る伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。第3の実施形態では、第1の実施形態と同一の構成要素については、同一の参照符号を用いて説明を省略する。第3の実施形態に係る伝送装置は、第1の実施形態(図1参照)と比較して、受信装置の構成が異なっている。図9において、第3の実施形態に係る受信装置は、受信アンテナRX1, RX2、直交復調部111, 113、受信用局部発振器112、同期サブシンボル相関部114~117、伝搬係数粗推定部

301～304、伝搬逆関数推定部322、及びデータ復調部123, 124を備える。

[0071] 同期サブシンボル相関部114～117は、上述したように受信信号と同期サブシンボルStxとの相関から、各伝送パスに関する情報を推定することが可能である。同期サブシンボル相関部114～117は、同期サブシンボルを構成するサブキャリアを一周波数DFTなどで抽出した場合、各サブキャリアの位相と振幅とを求めることができる。

[0072] 図10は、伝搬係数粗推定部301～304の動作を説明する図である。なお、図10(a)において、細い矢印は、OFDM変調されたデータシンボル列のサブキャリアが空間多重されたもの(すなわち、データキャリア)を表している。同期サブシンボル相関部114は、RX1での受信信号(図10(a)参照)からStx1を構成するサブキャリアのみを抽出し、抽出したそれぞれのサブキャリアの位相と振幅とを求める。伝搬係数粗推定部301は、Stx1を構成するサブキャリアの位相と振幅とを元に、隣接サブキャリア間の位相・振幅特性を補完することで、伝送パス $p(1, 1)$ の粗い周波数特性を推定することができる(図10(b)参照)。

[0073] 同様に、伝搬係数粗推定部302は、Stx2を構成するサブキャリアの位相と振幅とを元に、隣接サブキャリア間の位相・振幅特性を補完してやれば、伝送パス $p(2, 1)$ の粗い周波数特性を推定することができる(図10(c)参照)。

[0074] 受信装置で受信されるデータキャリア(図10(a)参照)は、これら2つの伝送パス $p(1, 1)$ 、 $p(2, 1)$ の特性が合成されたものである。よって、伝搬係数粗推定部301～304は、同期サブシンボルStxを用いて、予め伝送パスの粗い周波数特性を求める。伝搬逆関数推定部322は、この粗い周波数特性に基づいて、より精密に伝搬係数の逆関数を推定する。

[0075] 以上のように、本発明の第3の実施形態に係る受信装置によれば、同期サブシンボルStxを用いて、予め伝送パス毎の粗い周波数特性を推定することができる。これによって伝送装置は、後段の伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。

[0076] なお、第3の実施形態で説明した伝搬係数粗推定部301～304を用いる手法は、第1～第2の実施形態と組み合わせることが可能である。

[0077] (第4の実施形態)

第4の実施形態に係る伝送装置は、第1の実施形態(図1参照)と比較して、受信装

置の構成が異なる。第1の実施形態に係る受信装置においては、周波数選択性フェーディング環境下では、特定のサブキャリアの受信レベルが落ち込み、同期サブシンボル相関部114～117で相関が正確に求められない可能性が生じる。特にサブキャリア本数が少ない同期サブシンボルの場合は、あるサブキャリアの受信レベルが落ち込んだ場合その影響が大きくなる。そこで、第4の実施形態に係る受信装置は、受信システム毎に複数の受信アンテナを設け、受信ダイバーシチにより周波数選択性フェーディングの影響を軽減させる。

[0078] 図11は、本発明の第4の実施形態に係る受信装置の構成の一例を示すブロック図である。第4の実施形態では、第1の実施形態と同一の構成要素については同一の参照符号を用いて説明を省略する。

[0079] 図11において、第4の実施形態に係る受信装置は、第1の実施形態と比較して、受信アンテナRX1, RX2の代わりに、受信アンテナRX1-1, RX1-2, RX2-1, RX2-2、受信レベル判定部401, 402、及び選択合成部403, 404を備える。

[0080] 受信装置において、受信アンテナRX1-1, RX1-2は、受信システム1に設けられた複数のアンテナである。受信レベル判定部401は、複数の受信アンテナでの受信信号の受信レベルを比較する。選択合成部403は、受信レベル判定部401での比較結果に基づいて、複数のアンテナでの受信信号を選択又は合成する。例えば、選択合成部403は、RX1-1での受信レベルの方がRX1-2での受信レベルよりも大きい場合は、RX1-1での受信信号を選択する。あるいは、選択合成部403は、RX1-1での受信レベルとRX1-2での受信レベルとの比に基づいて、受信信号を合成してもよい。また、選択合成部403は、同期サブシンボル相関部114, 115の出力結果に基づいて、同期サブシンボルに含まれるサブキャリアが所定レベル以下にならない方の受信信号を選択しても良い。

[0081] 受信システム2においても、受信レベル判定部402、及び選択合成部404は、複数の受信アンテナRX2-1, RX2-2での受信信号を選択または合成する。

[0082] なお、第4の実施形態に係る受信装置は、受信システム毎に複数のアンテナを備えるのではなく、受信システム数よりも多い受信アンテナをまとめて備える構成としてもよい。図12は、受信システム数よりも多い受信アンテナをまとめて備える受信装置の構成の一

例を示すブロック図である。図12を参照して、受信装置は、複数の受信アンテナでの受信レベルを比較して、受信信号を選択または合成することにより、受信系統数分の受信信号を取り出すことができる。

[0083] 以上のように、本発明の第4の実施形態に係る受信装置によれば、周波数選択性フェージング環境下で特定のサブキャリア受信レベルが落ち込むような場合でも、複数受信アンテナの選択または合成による受信ダイバーシチ効果で、同期サブシンボルの相関を正確に求めることができる。これにより、伝送装置は、伝送パス毎の搬送波周波数誤差をより正確に補正することができ、伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。

[0084] なお、第4の実施形態で説明した受信系統毎に複数の受信アンテナを設ける手法は、第1、第2及び第3の実施形態と組み合わせることが可能である。

[0085] (第5の実施形態)

図13は、本発明の第5の実施形態に係る伝送装置の構成の一例を示すブロック図である。図13において、本発明の第5の実施形態に係る伝送装置は、データ変調部502、504及び伝搬逆関数推定部522が第1の実施形態(図1参照)と異なる。図14は、本発明の第5の実施形態に係るデータ変調部502、504の構成の一例を示すブロック図である。図15は、本発明の第5の実施形態に係る伝搬逆関数推定部522の構成の一例を示すブロック図である。

[0086] 図14において、データ変調部502は、データキャリアマッピング部5021、パイロットキャリア1発生部5022、及び直交多重部5023を備える。また、データ変調部504は、データキャリアマッピング部5041、パイロットキャリア2発生部5042、及び直交多重部5043を備える。

[0087] データ変調部502がデータ系列1を変調してデータシンボル列1を生成するのは第1の実施形態と同様である。データシンボル列1は、複数のサブキャリアを周波数軸上で直交多重したOFDMシンボルである。以下、第1の実施形態と異なるデータ変調部502の動作について説明する。データ変調部502は、データシンボル列1を構成する複数サブキャリアに含まれる所定のサブキャリアに、既知の位相及び振幅を割り当ててパイロットキャリアとする。また、データ変調部502は、パイロットキャリア以外の

サブキャリアには、データ系列1に基づき、位相及び振幅を割り当てて、データキャリアとする。

[0088] データ変調部502において、データキャリアマッピング部5021は、入力されるデータ系列1に基づき、データキャリアに位相及び振幅をマッピングする。このときのマッピング規則には、PSKやQAMなどが用いられる。パイロットキャリア1発生部5022は、パイロットキャリアとして、所定のサブキャリアに対して所定の位相及び振幅を割り当てる。データキャリアマッピング部5021及びパイロットキャリア1発生部5022から出力された複数のサブキャリアは、直交多重部5023に入力される。直交多重部5023は、これら複数のサブキャリアを直交多重してデータシンボルの時間軸波形(すなわち、データシンボル列1)を生成する。なお、直交多重には、逆フーリエ変換や逆ウェーブレット変換、逆離散コサイン変換などが用いられる。

[0089] データ変調部504においても、データ変調部502と同様に、データシンボル列2を生成する。

[0090] 図16は、データ変調部502, 504が生成するデータシンボル列の一例を示す図である。図16において、各データシンボル列は、4つのデータシンボルからなり、各データシンボルが8つのサブキャリアからなる場合を示している。ただし、これらの数は任意に拡張できるものとする。

[0091] 図16において、1段目と4段目とは、各データシンボル列の時間軸上の配置を示している。送信アンテナTX1から送信されるデータシンボル列1は、4つのデータシンボルD1-1, D1-2, D1-3, D1-4からなる。同様に、送信アンテナTX2から送信されるデータシンボル列2は、4つのデータシンボルD2-1, D2-2, D2-3, D2-4からなる。これらのデータシンボル列は、各アンテナから同時に送信される。すなわち、データシンボル列は、1番目にデータシンボルD1-1とD2-1とが同時に送信され、2番目にデータシンボルD1-2とD2-2とが同時に送信され、以降省略という順で送信される。

[0092] 一方、図16において、2段目と3段目とは、各データシンボルの周波数軸上のサブキャリア配置を示している。データシンボルは、8つのサブキャリアC-4, C-3, C-2, C-1, C+1, C+2, C+3, C+4からなる。サブキャリアを示す矢印のうち、実

線はデータキャリアを、破線はパイロットキャリアを示す。また、サブキャリア位置に矢印がないものは、振幅0のヌルキャリアを示す。

[0093] データ変調部502は、1番目に送信するデータシンボル $D1-1$ 及び $D2-1$ には、サブキャリア番号 $C-1$ 及び $C+4$ にパイロットキャリアを割り当てる。このとき、 $D1-1$ のパイロットキャリアには、所定の位相と0より大きい振幅とを割り当てる。一方、 $D2-1$ のパイロットキャリアには、振幅0のヌルキャリアを割り当てる。これにより、1番目に送信されるデータシンボル $D1-1$ 及び $D2-1$ において、サブキャリア番号 $C-1$ 及び $C+4$ は、送信アンテナTX1からのみ送信される。よって、受信装置では、1番目に受信するデータシンボルのうちサブキャリア番号 $C-1$ 及び $C+4$ を用いることで、送信アンテナTX1と各受信アンテナとの間の伝搬係数($h(1, 1)$ 、 $h(1, 2)$)を推定することが可能となる。

[0094] 次に、2番目に送信するデータシンボル $D1-2$ 及び $D2-2$ には、1番目に送信したパイロットキャリアと同じサブキャリア番号($C-1$ 及び $C+4$)にパイロットキャリアを割り当てる。ただし、1番目に送信したものと逆は、 $D2-2$ のパイロットキャリアに所定の位相と0より大きい振幅とを割り当て、 $D1-2$ のパイロットキャリアに振幅0のヌルキャリアを割り当てる。これにより、2番目に送信するデータシンボル $D1-2$ 及び $D2-2$ において、サブキャリア番号 $C-1$ 及び $C+4$ は、送信アンテナTX2からのみ送信される。よって、受信装置では、2番目に受信するデータシンボルのうちサブキャリア番号 $C-1$ 及び $C+4$ を用いることで、送信アンテナTX2と各受信アンテナとの間の伝搬係数($h(2, 1)$ 、 $h(2, 2)$)を推定することが可能となる。

[0095] 3番目と4番目とに送信するデータシンボルにおいても、1、2番目と同様に、パイロットキャリアをサブキャリア番号 $C-3$ と $C+2$ とに割り当てる。すなわち、3番目に送信するデータシンボルには、 $D1-3$ の $C-3$ と $C+2$ とに所定の位相と0より大きい振幅とを割り当てて、 $D2-3$ の $C-3$ と $C+2$ とに振幅0のヌルキャリアを割り当てる。また、4番目に送信するデータシンボルには、 $D1-4$ の $C-3$ と $C+2$ とに振幅0のヌルキャリアを割り当て、 $D2-4$ の $C-3$ と $C+2$ とに所定の位相と0より大きい振幅とを割り当てる。これにより、受信装置は、3番目に受信するデータシンボルから $h(1, 1)$ と $h(1, 2)$ とを、4番目に受信するデータシンボルから $h(2, 1)$ と $h(2, 2)$ とをそれぞれ推定す

ることが可能となる。

- [0096] 図17は、パイロットキャリアの配置の一例を時間軸対周波数軸で模式的に示す図である。図17(a)、送信アンテナTX1から送信されるデータシンボル列1を示している。図17(b)は、送信アンテナTX2から送信されるデータシンボル列2を示している。ここで、横軸が時間(シンボル番号)、縦軸が周波数(サブキャリア番号)である。また、1つの四角形がサブキャリアを示しており、白色の四角形がデータキャリアを、灰色の四角形がパイロットキャリアを、×印の四角形がヌルキャリアを示す。
- [0097] パイロットキャリア又はヌルキャリアを割り当てるサブキャリア(以下、パイロットサブキャリアと記す)は、1つのデータシンボルに対して少なくとも2つ以上割り当てられる。また、同時に送信される複数のデータシンボルにおいて、一方のデータシンボルのパイロットサブキャリアには、所定の位相で0より大きい振幅のパイロットキャリアを割り当て、他方のデータシンボルのパイロットサブキャリアには、振幅0のヌルキャリアを割り当てる。より好ましくは、次に送信するデータシンボルでは、パイロットキャリアとヌルキャリアとの割り当てを入れ替える。例えば、図17に示すように、データシンボル列1においては、奇数番目のデータシンボルでパイロットキャリアを送信し、偶数番目のデータシンボルでヌルキャリアを送信する。一方、同時に送信するデータシンボル列2においては、奇数番目のデータシンボルでヌルキャリアを送信し、偶数番目のデータシンボルでパイロットキャリアを送信する。
- [0098] また、パイロットサブキャリアは、全てのデータシンボルで同じサブキャリア番号を割り当てても良い。より好ましくは、データシンボル毎に所定のシーケンスに従ってパイロットサブキャリアのサブキャリア番号を変えてもよい。これにより、周波数選択性フェージングによって特定のサブキャリアの振幅が極端に小さくなる場合でも、受信パイロットキャリアの振幅が極端に小さくなる確率を下げることができる。このため伝送装置は、伝搬係数を精度よく推定することが可能となる。図17では、2つのデータシンボル毎にパイロットサブキャリアを変えている。ここでは、1つのデータシンボルに対して2つのパイロットサブキャリアを割り当て、パイロットサブキャリア間の間隔は一定とする。パイロットサブキャリアの割り当ては、全サブキャリアに少なくとも1回割り当てられるようにする。より好ましくは、全サブキャリアをパイロットサブキャリア位置で分割し、

パイロットサブキャリアが割り当てられていないサブキャリアが多い帯域の中心付近で、かつ前シンボルのパイロットサブキャリアから離れているサブキャリアに次のパイロットサブキャリアを割り当てる。

[0099] この割当て方法について、図17を用いて具体的に説明する。ここでは、サブキャリア番号 $C+1$, $C+2$, $C+3$, $C+4$ のみについて説明する。まず1, 2番目のデータシンボルでは、4つのサブキャリア帯域における中心付近のサブキャリアとして $C+3$ を選択し、これをパイロットサブキャリアとする。次に3, 4番目のデータシンボルでは、 $C+3$ でサブキャリア帯域が2つに分割され、 $C+1$, $C+2$ の組と $C+4$ とに分かれる。ここでは、 $C+1$, $C+2$ の組を選択し、その中央付近となるサブキャリアのうち前シンボルのパイロットサブキャリアから離れている $C+1$ を選択し、パイロットサブキャリアとする。さらに5, 6番目のデータシンボルでは、これまでのパイロットサブキャリア $C+3$, $C+1$ でサブキャリア帯域が分割され、 $C+2$ と $C+4$ とに別れる。このうち前シンボルのパイロットサブキャリアから離れている $C+4$ を選択し、これをパイロットサブキャリアとする。最後に7, 8番目のデータシンボルでは、残りの $C+2$ をパイロットサブキャリアとする。以降のデータシンボルではこれを繰り返す、このサイクルですべてのサブキャリアがパイロットサブキャリアに割り当てられる。

[0100] このような割当て方法により、各データシンボルにおいて、データキャリアとパイロットキャリアとの距離が周波数的または時間的に近くなるようなパイロットキャリア配置となり、全サブキャリアの伝搬係数を周波数方向補間と時間方向補間とで求める場合に、その精度を向上させることができる。つまり、伝搬路変動が緩やかな場合、あるサブキャリアの伝搬路係数は、周波数方向と時間方向とに隣接するサブキャリアの伝搬路係数と相関が高いといえる。これは、周波数的または時間的に離れたサブキャリアで推定された伝搬路係数を補間して求めた伝搬路係数よりも、周波数的または時間的に近いサブキャリアから推定された伝搬路係数を補完して求めた伝搬路係数の方が精度がよくなるためである。

[0101] なお、このパイロットサブキャリア割当てシーケンスは、サブキャリア数、パイロットサブキャリア数、及び同時に送信するデータシンボル数に応じてあらかじめ決定し、送信装置、受信装置で既知としておく。

- [0102] パイロットキャリアが挿入されたデータシンボル列を分離する伝搬逆関数推定部522について、図15を用いて説明する。図15において、伝搬逆関数推定部522は、直交分離部5221、5222は、伝搬路特性推定部5223、パイロットキャリア1抽出部5224、5226、パイロットキャリア2抽出部5225、5227、 h_{11} 粗推定部5228、 h_{21} 粗推定部5229、 h_{12} 粗推定部5230、 h_{22} 粗推定部5231は、伝搬路特性更新部5232、伝搬路逆関数演算部5233、及びチャンネル分離部5234を備える。
- [0103] 伝搬逆関数推定部522には、第1～4の実施形態で説明したように同期シンボルを用いて周波数誤差を推定し、これを補正した受信シンボル列が入力される。受信アンテナRX1で受信したシンボル列は、直交分離部5221に入力される。受信アンテナRX2で受信したシンボル列は、直交分離部5222に入力される。直交分離部5221、5222は、入力されたシンボル毎に直交分離を行い周波数軸上のサブキャリアに分離する。なお、直交分離にはフーリエ変換、ウェーブレット変換、離散コサイン変換などを用いることができる。
- [0104] サブキャリアに分離された各シンボルのうち伝搬係数推定用シンボル S_{ref} は、伝搬路特性推定部5223に入力される。伝搬路特性推定部5223は、既知の伝搬係数推定用シンボル S_{ref} と受信された伝搬係数推定用シンボル S_{ref} との相関から各アンテナ間の伝搬路特性 $h(i, j)$ を推定する。以降の受信データシンボルは、各伝送パスの伝搬係数逆関数を推定して干渉成分をキャンセルする等化を行い、各送信アンテナから送信されたデータシンボル列を分離する。
- [0105] しかし、上述した同期シンボルを用いて推定した周波数推定値には、雑音や位相雑音などの影響による推定誤差(残留周波数誤差)が含まれる。このため、受信シンボル列には、この残留周波数誤差による位相回転が生じる。残留周波数誤差が大きな場合、伝搬係数推定用シンボル S_{ref} から時間的に離れるほど、データシンボルには大きな位相差が生じる。このため、受信装置では、伝搬係数逆関数の推定に誤差が生じることとなり受信誤りが発生する。
- [0106] このような残留周波数誤差による位相回転を補正するために上述のパイロットキャリアを用いる。RX1で受信されサブキャリアに分離された受信データシンボルは、パイロットキャリア1抽出部5224およびパイロットキャリア2抽出部5225に入力される。パ

パイロットキャリア1抽出部5224は、パイロットキャリア1を抽出する。パイロットキャリア2抽出部5225は、パイロットキャリア2を抽出する。パイロットキャリア1が送信アンテナTX1からのみ送信されているため、受信したパイロットキャリア1と既知のパイロットキャリア1との相関から周波数方向または時間方向に補完することで全サブキャリアのTX1-RX1間の伝搬路特性 $h'(1, 1)$ を推定することができる。同様に、パイロットキャリア2が送信アンテナTX2からのみ送信されているため、TX2-RX1間の伝搬路特性 $h'(2, 1)$ を推定することができる。これらを h_{11} 粗推定部5228および h_{21} 粗推定部5229で行う。受信アンテナRX2側でも同様にして $h'(2, 1)$ と $h'(2, 2)$ とをパイロットキャリアから推定する。

- [0107] 伝搬係数推定用シンボル S_{ref} で推定した伝搬係数 $h(i, j)$ と、各データシンボル中のパイロットキャリアで推定した伝搬係数 $h'(i, j)$ とは、伝搬路特性更新部1412に入力される。 $h(i, j)$ と $h'(i, j)$ とには、残留周波数誤差や位相雑音による位相差、伝送路変動による位相差および振幅差があるため、 $h(i, j)$ を初期値として $h'(i, j)$ との誤差を用いて伝搬係数 $h''(i, j)$ を更新することにより、より精度良く各伝送パスの伝搬係数を推定することができる。
- [0108] このようにして、データシンボル毎に更新した伝搬係数 $h''(i, j)$ は、伝搬路逆関数演算部5233に入力され、その逆関数が求められる。この逆関数を用いてチャネル分離部5234においてRX1で受信されサブキャリアに分離された受信データシンボル列1と、RX2で受信されサブキャリアに分離された受信データシンボル列2から、送信データシンボル列1, 2を分離してデータ復調を行う。
- [0109] 以上のように、本発明の第5の実施形態に係る送信装置によれば、データ変調部502, 504が所定のサブキャリアに既知の位相及び振幅を割り当てることで、データシンボルにパイロットキャリアを発生させることができる。また、受信装置によれば、同期シンボルによる周波数推定に残留誤差があるような場合でも、データシンボルのパイロットキャリアを用いて、伝送パス毎に残留誤差を推定し伝搬係数を補正することで伝搬係数逆関数の推定精度を向上させることができる。また、周波数選択性フェージング環境下で特定のサブキャリア受信レベルが落ち込むような場合でも、パイロットキャリアを全サブキャリアに順次割り当てることで、パイロットキャリア受信レベルが落ち

込む確率を低くすることができる。また、上述したパイロットサブキャリアの割当て方法により、各サブキャリアの伝搬路推定値の補間精度を均一にすることができる。

[0110] なお、第5の実施形態で説明したデータ変調部502, 504、及び伝搬逆関数推定部522を用いる手法は、第1～第4の実施形態と組み合わせることが可能である。

[0111] また、第1～5の実施形態では、送信装置と受信装置とが同時に使用される場合を想定して説明を行ったが、上述した送信装置及び受信装置は、それぞれ単独に、あるいは他の装置と組み合わせて使用することもできる。例えば、送信装置は、上述した受信装置だけでなく、他の受信装置に対しても信号を送信してもよい。また、受信装置は、上述した送信装置によって送信された信号だけでなく、信号のフォーマットのみ整合性が取れていれば、他の送信装置から送信された信号を受信してもよい。

[0112] また、第1～5の実施形態で述べた送信装置と受信装置とが行うそれぞれの処理手順は、記憶装置(ROM、RAM、ハードディスク等)に格納された上述した処理手順を実行可能な所定のプログラムデータが、CPUによって解釈実行されることで実現されてもよい。この場合、プログラムデータは、記憶媒体を介して記憶装置内に導入されてもよいし、記憶媒体上から直接実行されてもよい。なお、記憶媒体は、ROMやRAMやフラッシュメモリ等の半導体メモリ、フレキシブルディスクやハードディスク等の磁気ディスクメモリ、CD-ROMやDVDやBD等の光ディスクメモリ、及びメモリカード等をいう。また、記憶媒体は、電話回線や搬送路等の通信媒体を含む概念である。

[0113] また、第1～5の実施形態で述べた送信装置と受信装置とに含まれる構成は、それぞれ集積回路であるLSIとして実現することができる。これらは、個別に1チップ化されてもよいし、それぞれにおいて全てまたは一部を含むように1チップ化されてもよい。ここでは、LSIとしたが、集積度の違いにより、IC、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと呼称されることもある。

また、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路又は汎用プロセッサで実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA(Field Programmable Gate Array)や、LSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なリコンフィギュラブル・プロセッサを利用してもよい。さらには、半導体技術の進歩又は派生する別技術によりLSIに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、そ

の技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。バイオ技術の適応例が可能性としてありえる。

産業上の利用可能性

[0114] 本発明のデータ送信方法及びデータ受信方法は、MIMO-OFDM方式が適用された送信装置及び受信装置等に適用することができる。

請求の範囲

- [1] MIMO-OFDM方式を利用して、送信装置が、複数の送信アンテナから複数の受信アンテナに向けて複数のデータ系列を送信するデータ送信方法であって、互いに直交する所定の周波数間隔からなる複数のサブキャリアに、所定の振幅と位相とを割り当てた同期シンボルを、前記複数の送信アンテナ毎に分割することで複数の同期サブシンボルを発生させるステップと、前記複数の同期サブシンボルを無線信号に変換して、前記複数の送信アンテナから同時に送信するステップとを備えることを特徴とする、データ送信方法。
- [2] 前記複数の送信アンテナから送信するための複数の送信データを、複数のデータシンボル列に変調するステップと、前記送信アンテナと前記受信アンテナとの間における複数の伝送パスが持つ伝搬係数の逆関数を推定するためのシンボルとして、前記送信アンテナ毎に互いに直交する伝搬係数推定用シンボルを発生させるステップとをさらに備え、前記送信するステップは、前記複数の送信アンテナ毎に、前記データシンボル列と、前記同期サブシンボルと、前記伝搬係数推定用シンボルとを伝送フレームに多重化するステップと、前記複数の送信アンテナ毎に多重化された伝送フレームを、無線信号に変換するステップとを含むことを特徴とする、請求項1に記載のデータ送信方法。
- [3] 前記データシンボル列に変調するステップは、前記複数のサブキャリアのうち所定のサブキャリアに、前記送信データに基づいた振幅及び位相を割り当てることで、データキャリアとするステップと、前記データキャリア以外のサブキャリアに既知の位相及び振幅を割り当てることで、パイロットキャリアを発生させるステップと、前記データキャリアと前記パイロットキャリアとを複数のデータシンボルに直交多重し、当該直交多重された複数のデータシンボルを前記データシンボル列として出力するステップとを含むことを特徴とする、請求項2に記載のデータ送信方法。
- [4] 前記パイロットキャリアを発生させるステップは、前記複数の送信アンテナから同時に送信するデータシンボルの1つにのみ、前記パイロットキャリアとして既知の位相と

振幅とを割り当て、その他の同時に送信するデータシンボルには前記パイロットキャリアとして大きさ0の振幅を割り当てることを特徴とする、請求項3に記載のデータ送信方法。

- [5] 前記送信するステップは、前記複数の送信アンテナ間で同期を取るために、送信アンテナ毎に共通する1つの送信用局部発振器、又は送信アンテナ毎に異なる複数の送信用局部発振器を利用することを特徴とする、請求項1に記載のデータ送信方法。

- [6] MIMO-OFDM方式を利用して複数の送信アンテナから送信された複数のデータ系列を、受信装置が、複数の受信アンテナを介して受信するデータ受信方法であって、

前記複数のデータ系列には、互いに直交する複数のサブキャリアからなる同期シンボルを前記複数の送信アンテナ毎に分割することで生成された同期サブシンボルが含まれており、

前記複数のデータ系列を前記受信アンテナ毎に受信するステップと、

前記複数の受信アンテナから受信したデータ系列を受信アンテナ毎に同期させて復調するステップと、

前記受信アンテナ毎に復調された受信信号と、当該受信信号に含まれる前記同期サブシンボルとに基づいて、前記送信アンテナと前記受信アンテナとの間における複数の伝送パスが持つ特性を伝送パス毎に推定するステップとを備える、データ受信方法。

- [7] 前記特性を伝送パス毎に推定するステップは、前記受信アンテナ毎に復調された受信信号と、当該受信信号に含まれる前記同期サブシンボルとの相関から伝送パス毎に発生する周波数誤差を推定するステップを含み、

前記特性を伝送パス毎に推定するステップの後に、前記推定された周波数誤差に基づいて、前記受信信号の周波数を補正するステップをさらに備えることを特徴とする、請求項6に記載のデータ受信方法。

- [8] 前記受信信号の周波数を補正するステップは、
前記推定された伝送パス毎に発生する周波数誤差を重み付け平均して、前記受信

- 信号を補正するための周波数補正值を前記受信アンテナ毎に算出するステップと、
 前記算出された周波数補正值に基づいて、前記受信信号の周波数を前記受信アンテナ毎に補正して周波数が補正された受信信号として出力するステップとを含むことを特徴とする、請求項7に記載のデータ受信方法。
- [9] 前記周波数誤差を推定するステップは、前記受信信号と前記受信信号に含まれる前記同期サブシンボルとの相関値のピークタイミングを重み付け平均したものに基づいて、受信シンボルタイミングを発生させることを特徴とする、請求項7に記載のデータ受信方法。
- [10] 前記受信信号には、前記送信アンテナと前記受信アンテナとの間における複数の伝送パスが持つ伝搬係数の逆関数を推定するためのシンボルとして、前記送信アンテナ毎に互いに直交するように送信された伝搬係数推定用シンボルが含まれており、前記受信信号の周波数を補正するステップの後に、前記周波数が補正された受信信号に含まれる前記伝搬係数推定用シンボルに基づいて、前記複数の伝送パス毎に前記伝搬係数の逆関数を推定して、当該推定した逆関数に基づいて前記複数の受信信号から前記複数の送信アンテナが送信した信号を分離するステップをさらに備えることを特徴とする、請求項7に記載のデータ受信方法。
- [11] 前記復調するステップと前記特性を伝送パス毎に求めるステップとの間に、前記復調するステップによって受信アンテナ毎に復調された受信信号と、前記受信信号に含まれる同期サブシンボルから合成された同期シンボルとの相関から、前記復調された受信信号に含まれる周波数誤差を前記受信アンテナ毎に推定するステップと、
 前記推定された周波数誤差を重み付け平均して、前記複数の受信信号に対する平均の周波数誤差を算出するステップと、
 前記算出された平均の周波数補正值に基づいて、前記複数の受信信号の周波数を補正する第2の補正ステップとを備えることを特徴とする、請求項6に記載のデータ受信方法。
- [12] 前記受信するステップは、
 前記複数の送信アンテナから送信された信号を、前記複数のデータ系列よりも多く

の受信アンテナを用いて受信するステップと、

前記多くの受信アンテナから受信した信号の受信レベルを判定するステップと、

前記判定された受信レベルに応じて、前記多くの受信アンテナから受信した信号を選択又は合成するステップとを含むことを特徴とする、請求項6に記載のデータ受信方法。

- [13] 前記復調するステップは、前記複数の受信アンテナ間で同期を取るために、前記受信アンテナ毎に共通する1つの受信用局部発振器、又は受信アンテナ毎に異なる複数の受信用局部発振器を利用することを特徴とする、請求項6に記載のデータ受信方法。

- [14] 前記特性を伝送パス毎に推定するステップは、前記受信アンテナ毎に復調された受信信号に含まれる前記同期サブシンボルに基づいて、当該受信信号に含まれる複数のサブキャリアの位相と振幅とを周波数方向に補完して、前記伝送パス毎の粗い周波数特性を推定するステップを含み、

前記特性を伝送パス毎に推定するステップの後に、前記推定された伝送パス毎の粗い周波数特性に基づいて、前記複数の伝送パスが持つ伝搬係数の逆関数を推定して、当該推定した逆関数に基づいて前記複数の受信信号から前記複数の送信アンテナが送信した信号を分離するステップをさらに備えることを特徴とする、請求項6に記載のデータ受信方法。

- [15] MIMO-OFDM方式を利用して、複数の送信アンテナから複数の受信アンテナに向けて複数のデータ系列を送信する送信装置であって、
所定の周波数間隔からなる複数のサブキャリアに、所定の振幅と位相とを割り当てた同期シンボルを、前記複数の送信アンテナ毎に分割することで、前記複数の送信アンテナ毎に互いに直交する同期サブシンボルを発生させる複数の同期サブシンボル発生部と、

前記複数の同期サブシンボルを前記複数の送信アンテナ毎に変調する複数の変調部と、

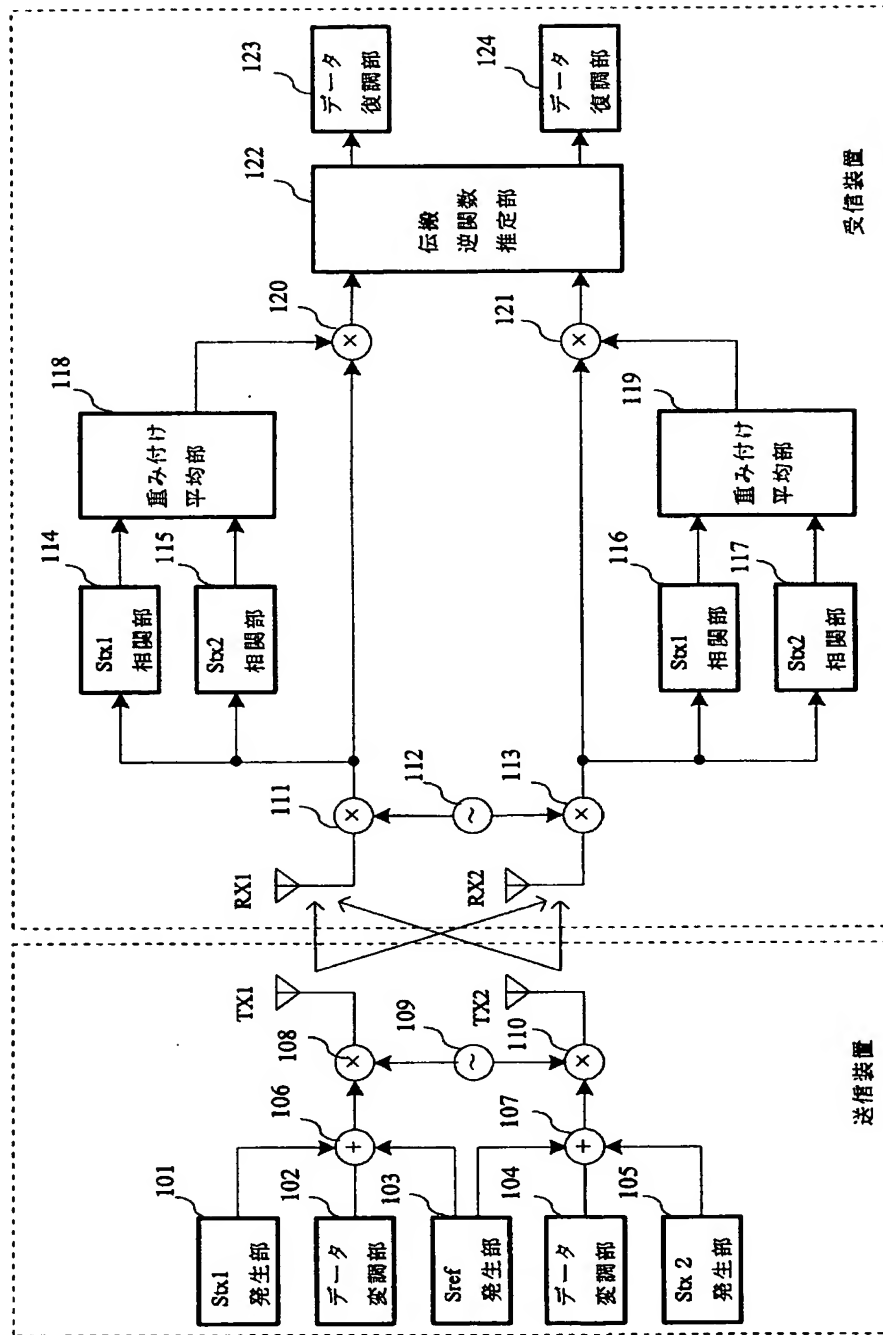
前記複数の変調部で変調された信号を同時に送信する複数の送信アンテナとを備えることを特徴とする、送信装置。

- [16] MIMO-OFDM方式を利用して複数の送信アンテナから送信された複数のデータ系列を、複数の受信アンテナを介して受信する受信装置であって、
- 前記複数のデータ系列には、互いに直交する複数のサブキャリアからなる同期シンボルを前記複数の送信アンテナ毎に分割することで生成された同期サブシンボルが含まれており、
- 前記複数のデータ系列を受信する複数の受信アンテナと、
- 前記複数の受信アンテナで受信したデータ系列を、前記受信アンテナ毎に同期させて復調する複数の復調部と、
- 前記受信アンテナ毎に復調された受信信号と、当該受信信号に含まれる前記同期サブシンボルとの相関から、当該受信信号に含まれる周波数誤差を伝送パス毎に推定する複数の同期サブシンボル相関部と、
- 前記推定された周波数誤差に基づいて、前記受信信号の周波数を前記複数の受信アンテナ毎に補正する複数の周波数補正部とを備える、受信装置。

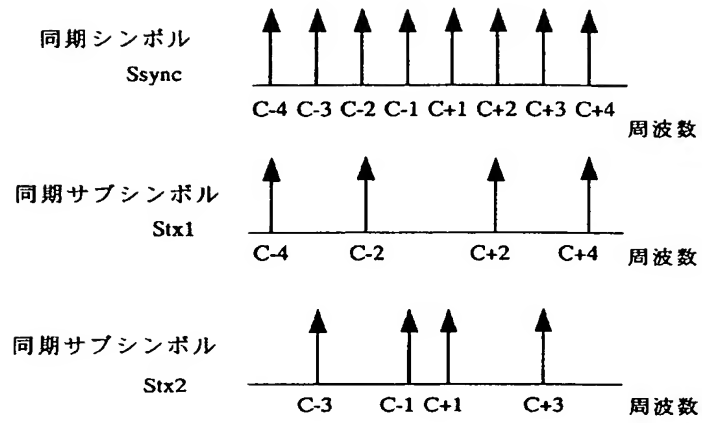
要 約 書

MIMO-OFDM方式が適用された伝送装置において、伝送パス毎に異なる周波数誤差が存在する場合でも、伝搬係数逆関数の推定精度を向上させ、特性劣化を抑えることができるデータ送信方法及びデータ受信方法を提供する。送信装置は、互いに直交する複数のサブキャリアから構成されるシンボルのうち、所定周波数間隔の複数のサブキャリアに所定の振幅と位相とを割り当てたシンボルを同期シンボルとする。そして、その同期シンボルを、送信アンテナ毎に分割することで、複数の同期サブシンボルを発生させ、複数の送信アンテナから同時に送信する。受信装置は、複数の受信アンテナを介して受信した信号に含まれる同期サブシンボルから、伝送パス毎の周波数誤差を推定して、推定した周波数誤差に基づいて受信信号を補正する。

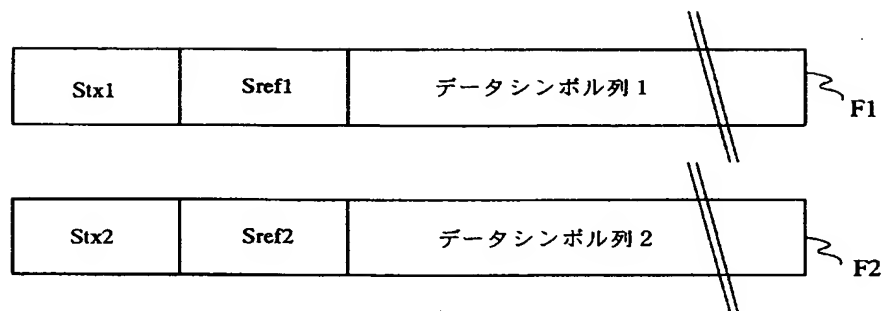
[図1]



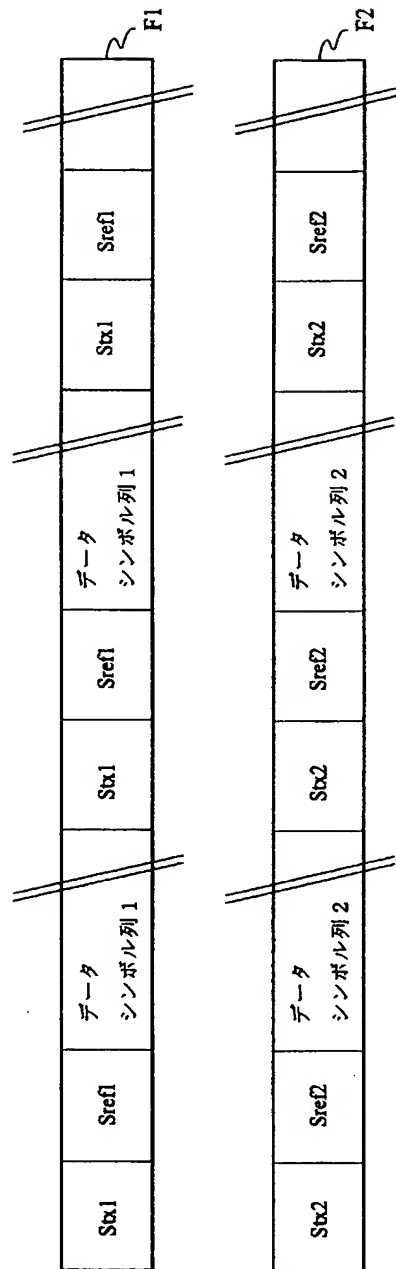
[図2]



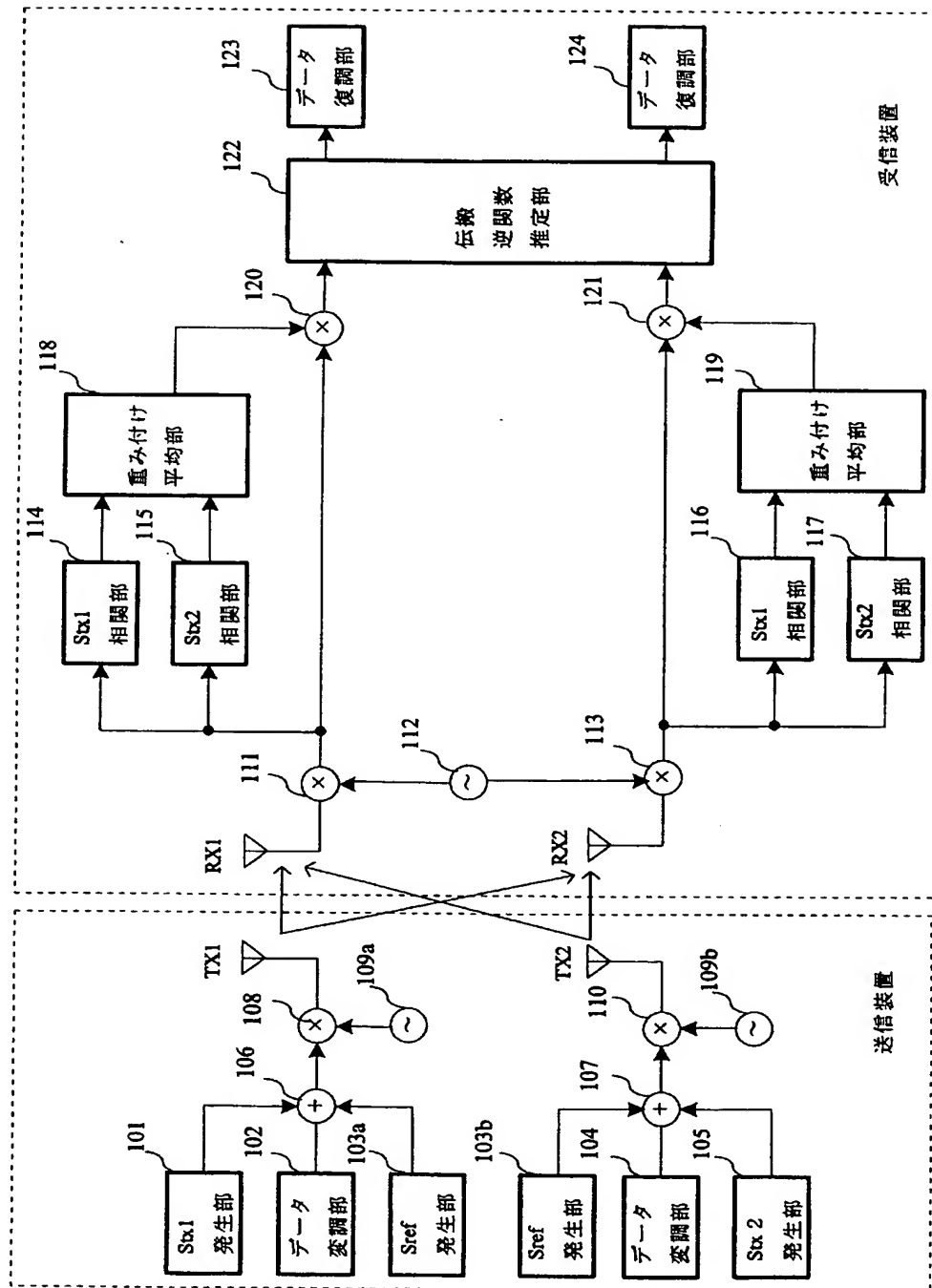
[図3]



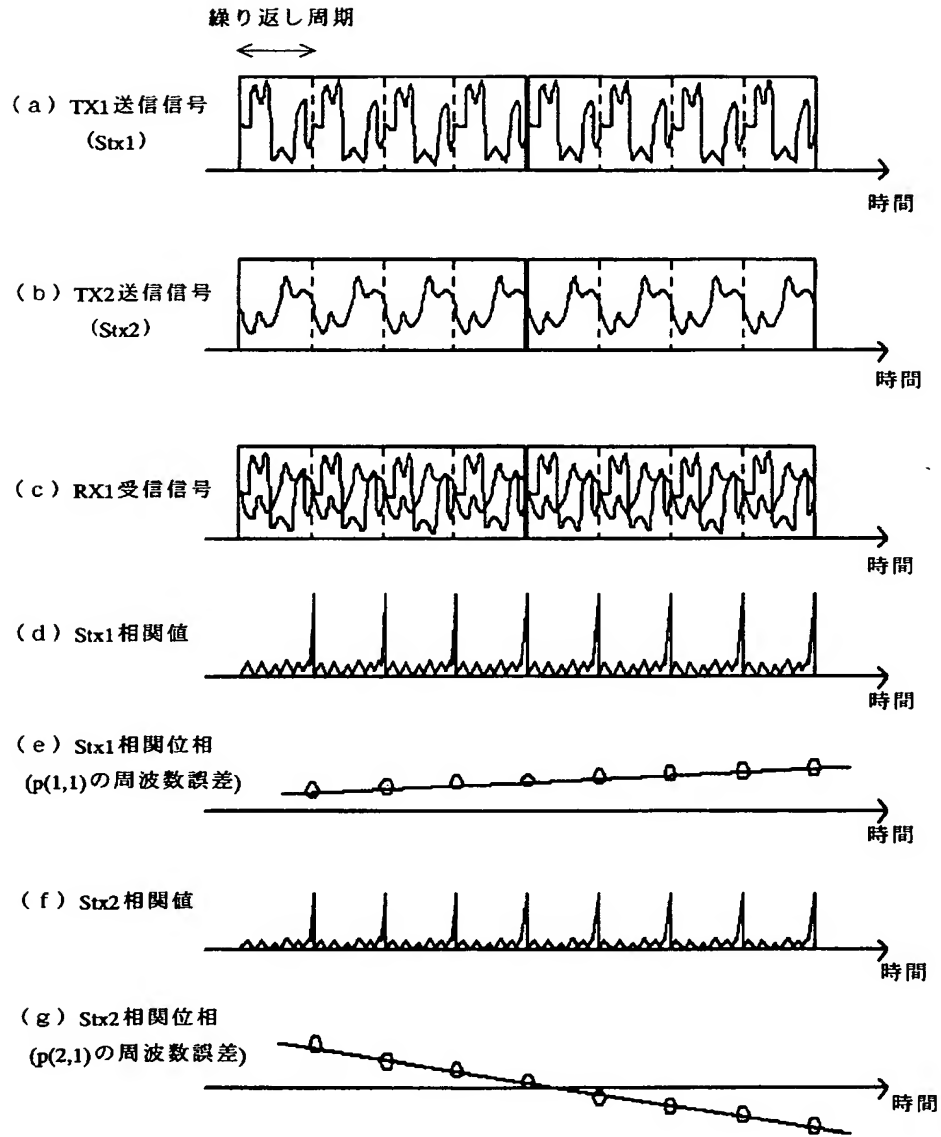
[図4]



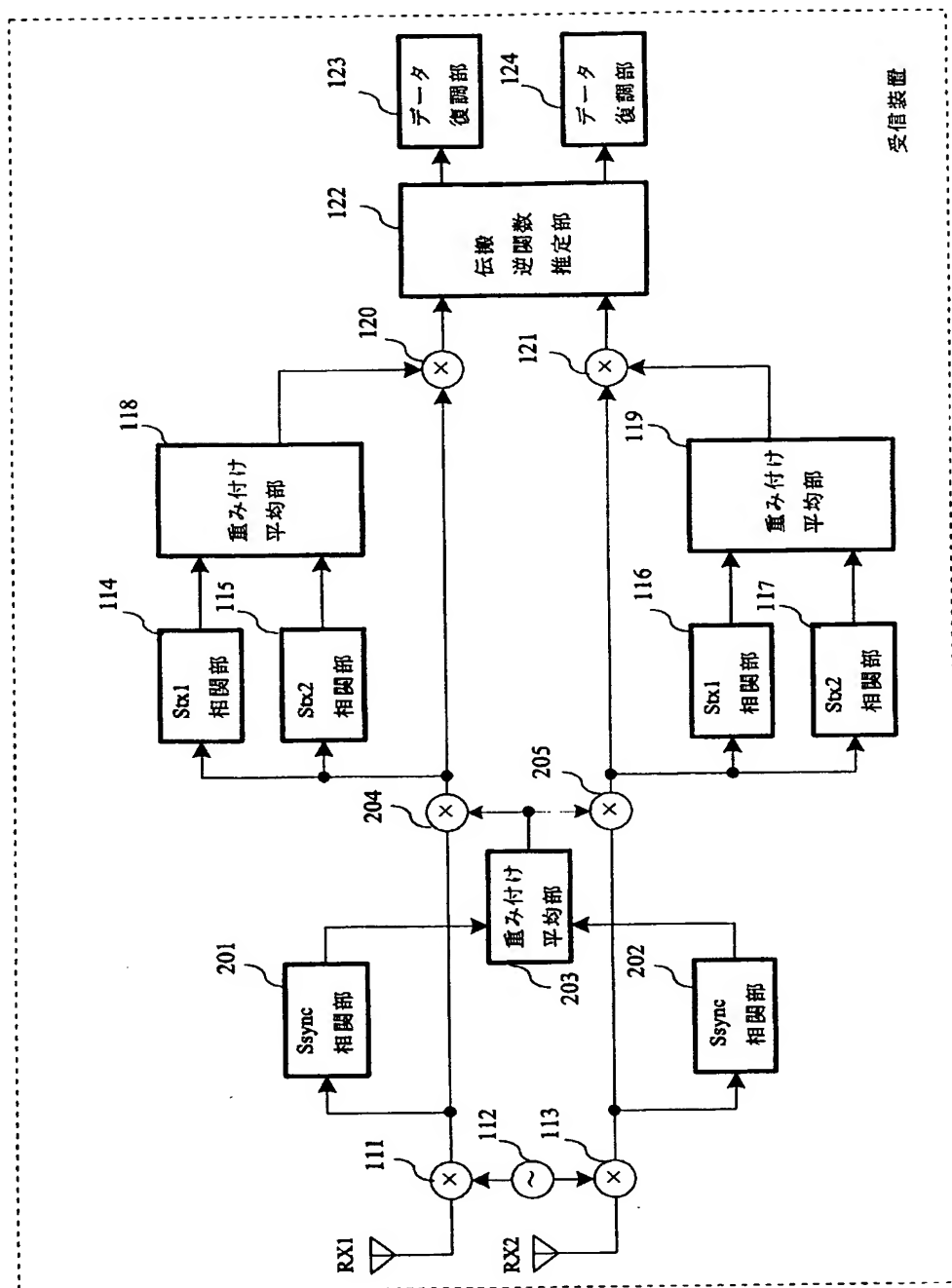
[図5]



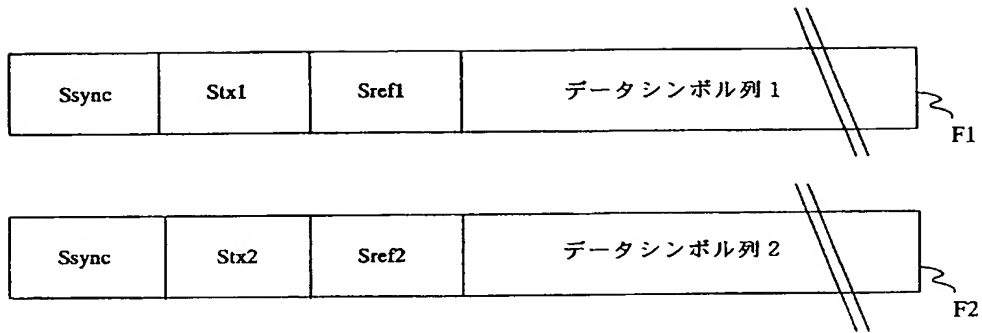
[図6]

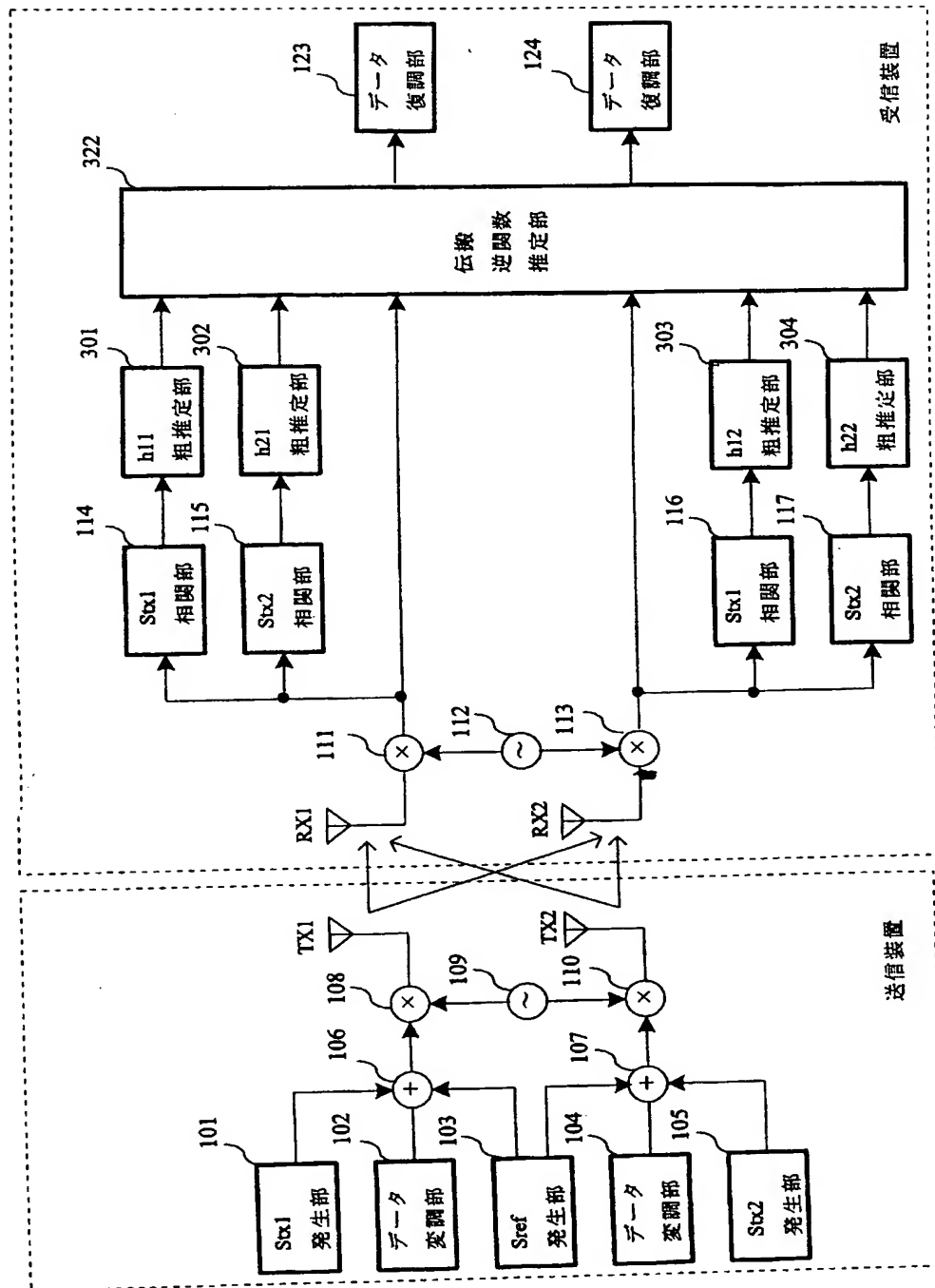


[図7]

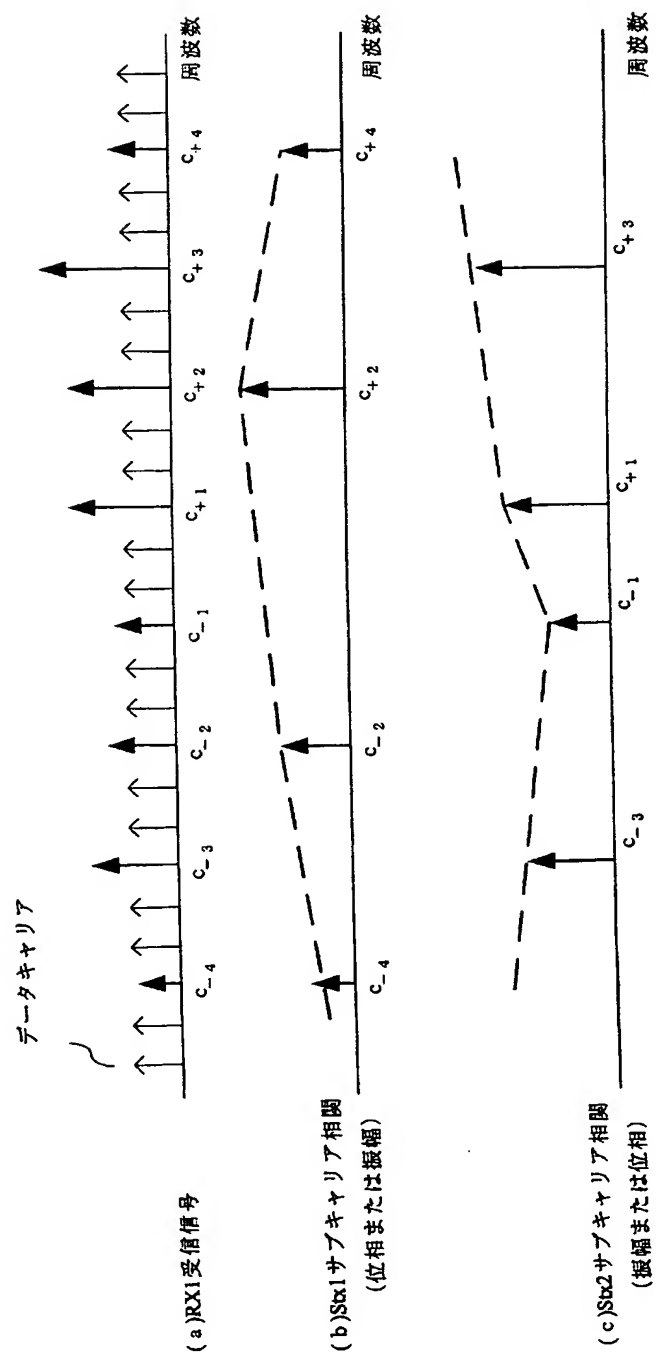


[図8]

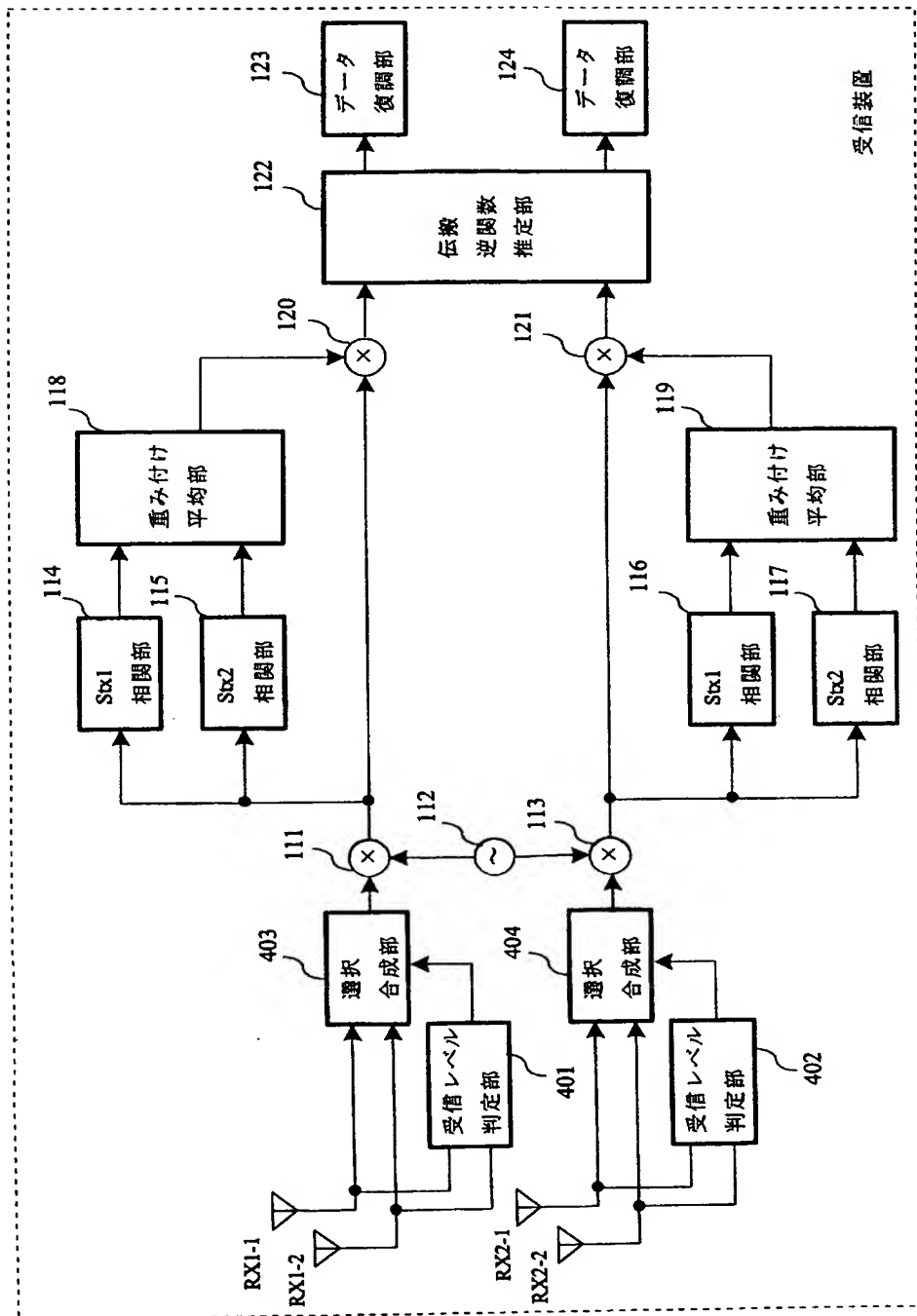




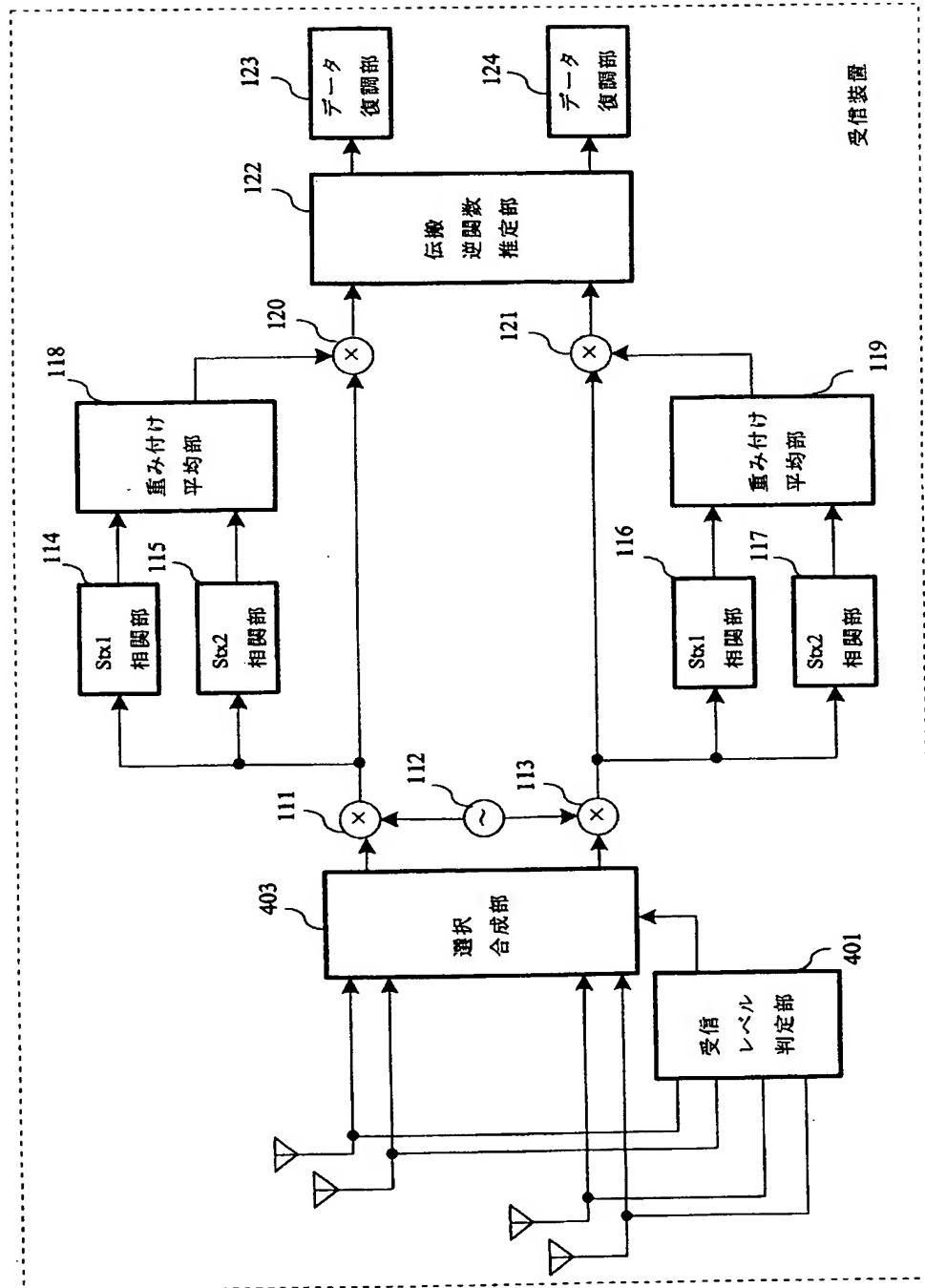
[図10]



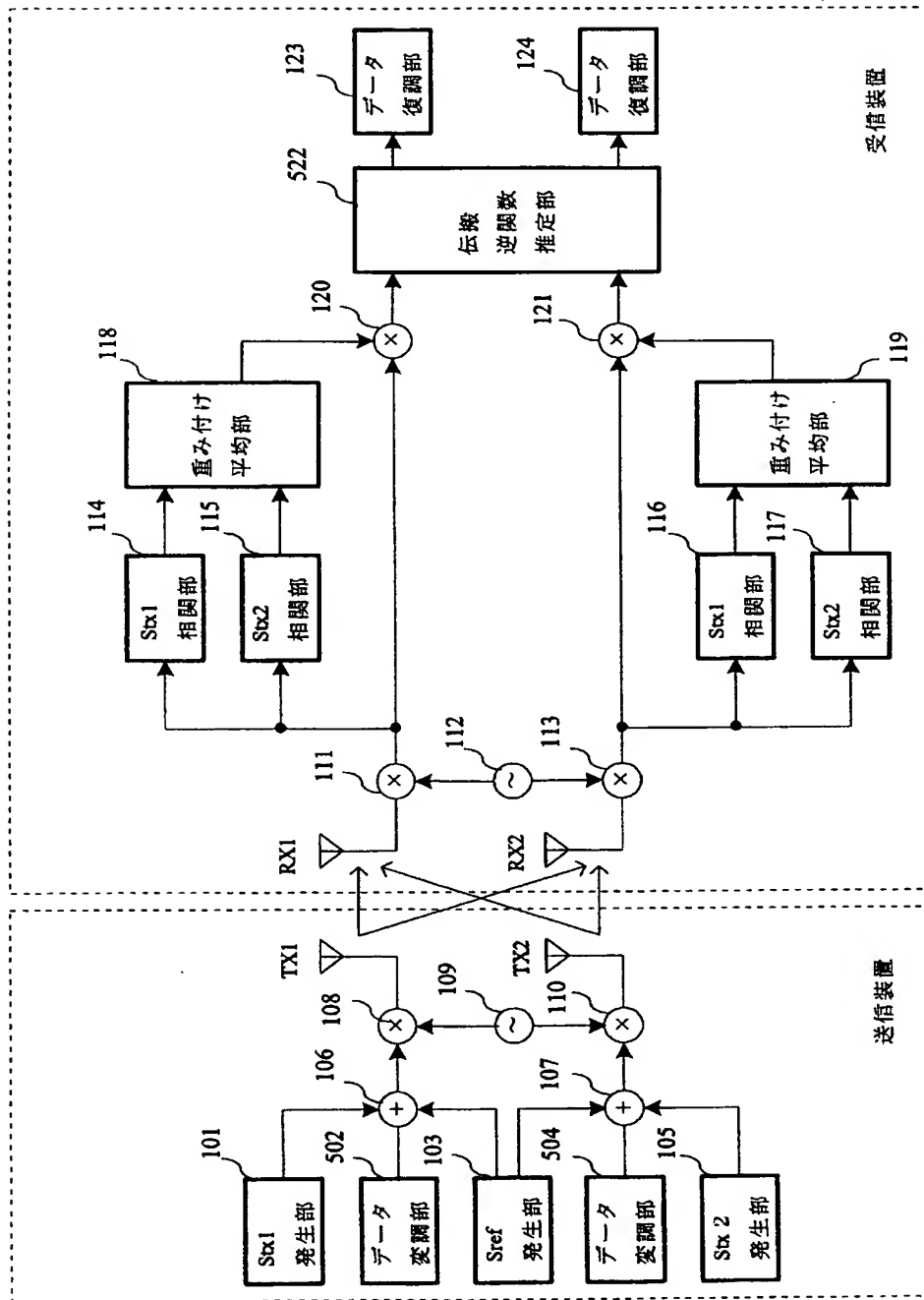
[図11]



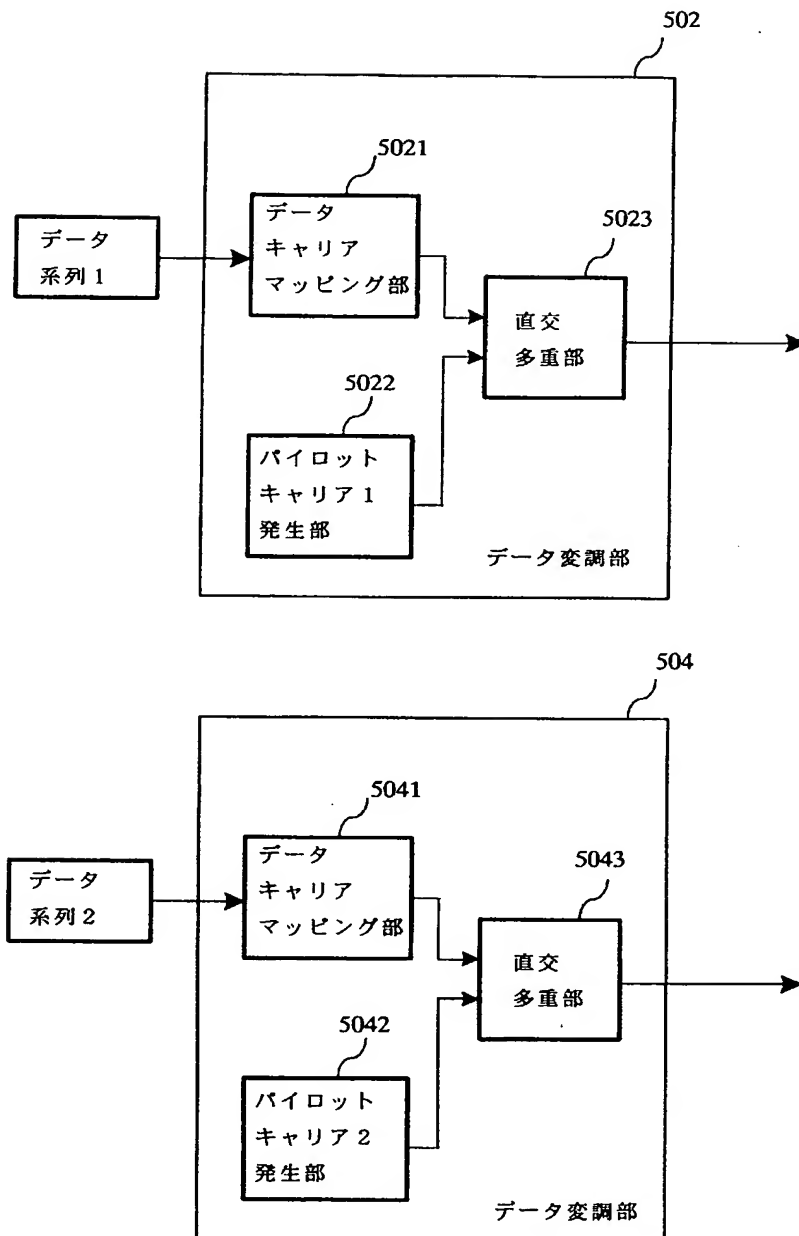
[図12]



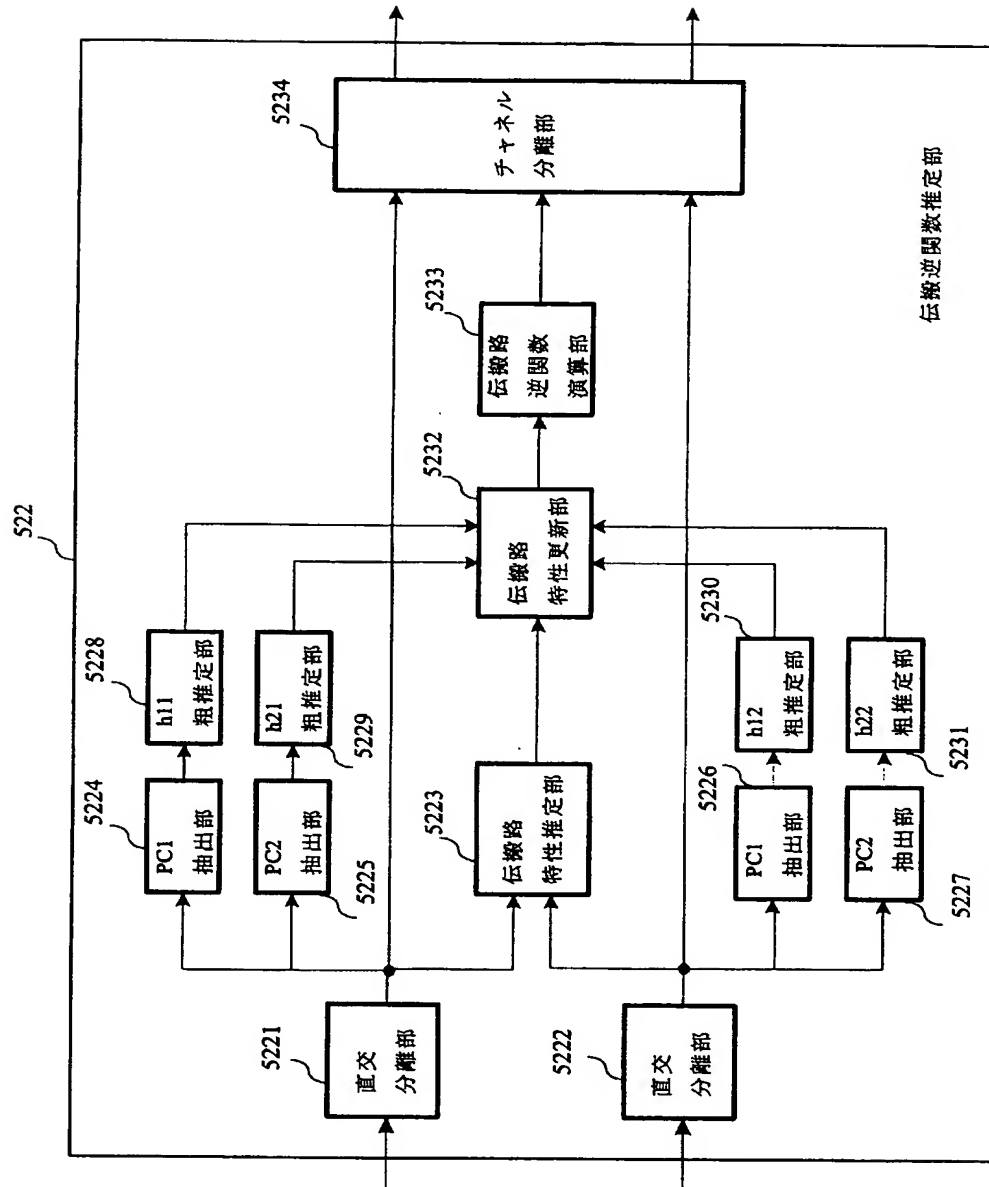
[図13]



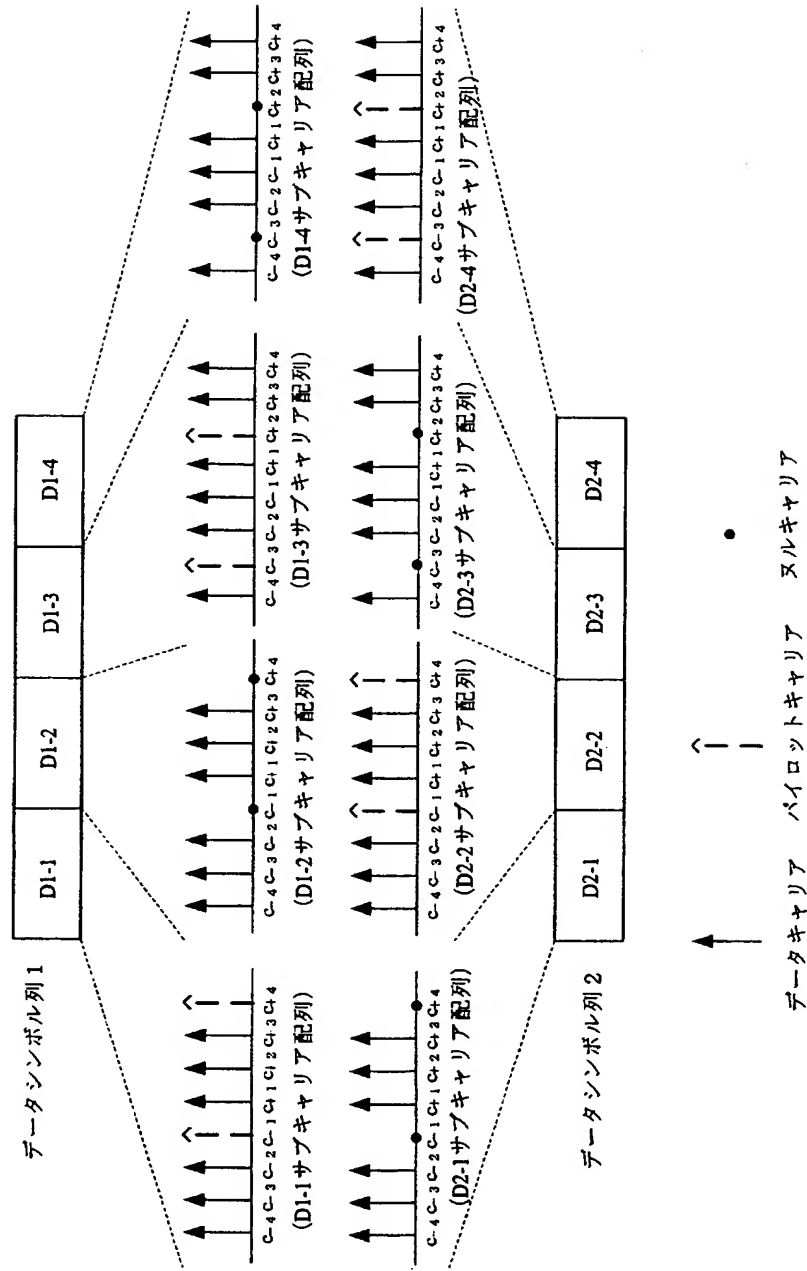
[図14]



[図15]



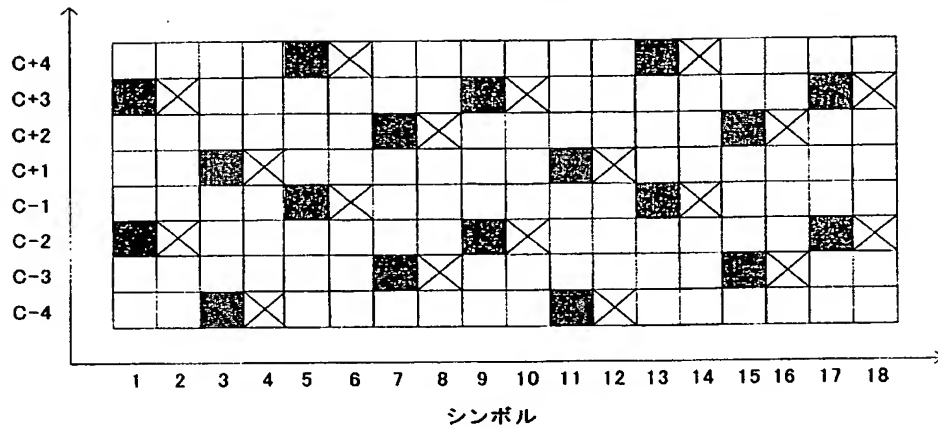
[図16]



[図17]

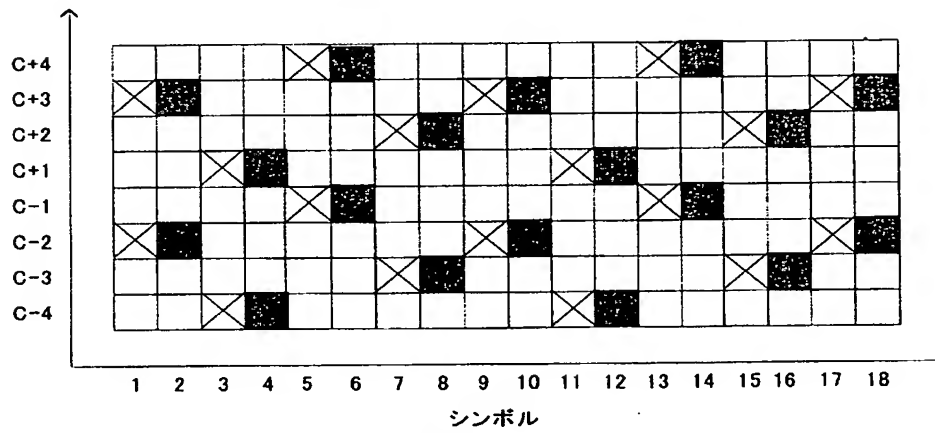
(a)

データシンボル列1



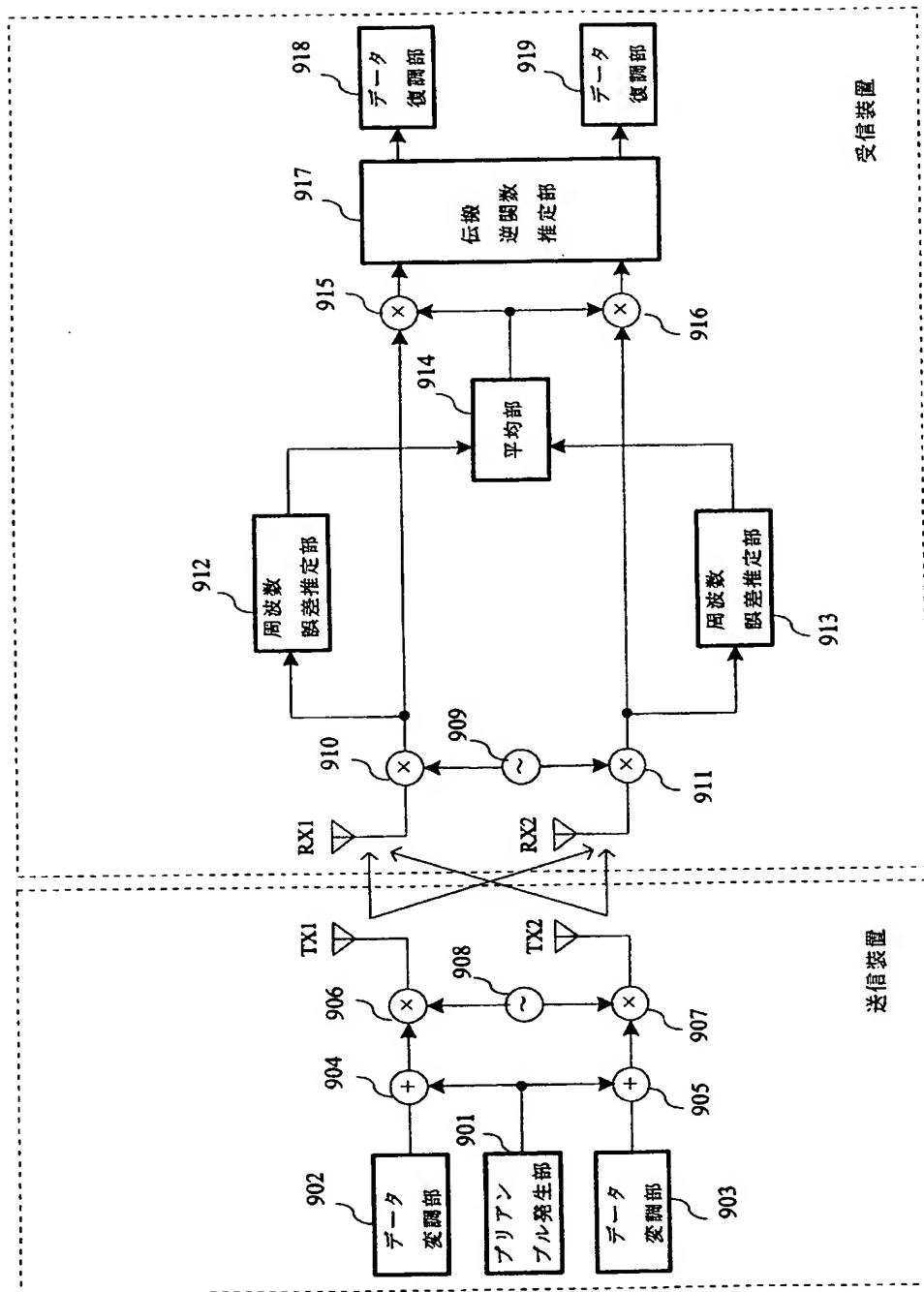
(b)

データシンボル列2



データキャリア
 パイロットキャリア
 ノルキャリア

[図18]



[図19]

